

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. E. Schönhals

Untersuchungen an der organischen Substanz
der Lockerbraunerden und der
Sauren Braunerden im Hohen Vogelsberg

DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich Umweltsicherung
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
M. Coskun Akinci
aus Doganhisar/Türkei

Gießen 1973

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. E. Schönhals

Untersuchungen an der organischen Substanz
der Lockerbraunerden und der
Sauren Braunerden im Hohen Vogelsberg

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich Umweltsicherung
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

M. Coskun Akinci

aus Doganhisar/Türkei

Gießen 1973



Dekan:

Prof.Dr. J.Breburda

1. Berichterstatter: Prof.Dr. E.Schönhals

2. Berichterstatter: Prof.Dr. L.Jung

Tag der mündlichen Prüfung: 3. August 1973

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Beschreibung der Bodenprofile und angewandte Untersuchungsmethoden	4
2.1. Profilbeschreibungen	4
2.2. Angewandte Untersuchungsmethoden	10
3. Kenndaten der Profile	23
3.1. Die Bodenreaktion (pH-Wert)	23
3.2. Die Korngrößenverteilung	25
3.3. Austauschkapazität und sorbierte Kat- ionen	29
3.4. Die freien Oxide des Fe, Al und Mn	34
3.4.1. Die freien Oxide des Fe	34
3.4.2. Die freien Oxide des Al	41
3.4.3. Die freien Oxide des Mn	43
4. Die organische Substanz	44
4.1. Der Gesamtgehalt an organischer Substanz	44
4.2. Die Fraktionierung der organischen Substanz	48
4.2.1. Die Nichthuminstoffe	49
4.2.2. Die Huminstoffe	56
4.2.2.1. Die extrahierbaren Huminstoffe	58
4.2.2.2. Die nicht extrahierbaren Huminstoffe	83

4.3.	Der N-Gehalt und das C/N-Verhältnis	84
4.4.	Die Humifizierungszahl	87
4.5.	Die Humifizierungsart	93
4.6.	Die Untersuchung der Fulvo-und Humin-säuren	95
4.6.1.	Die Fraktionierung der Fulvosäuren	95
4.6.2.	Die C-Gehalte der Huminsäuren	100
4.6.3.	Die $Q_{4/6}$ -Werte der Huminsäuren	102
4.6.4.	Die Lichtabsorptionskurven der Humin-säuren	105
4.7.	Organo-mineralische Kolloide und Verbindungen	111
4.7.1.	Die Bestimmung der C-Gehalte	114
4.7.2.	Die Bestimmung der Fe-und Al-Gehalte	124
4.7.3.	Die Röntgenaufnahmen	141
5.	Diskussion der Ergebnisse	144
6.	Zusammenfassung	157
7.	Literatur	162

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit chemisch-analytisch erfassbaren Eigenschaften der organischen Substanz und deren Genese in den Lockerbraunerden und in den Sauren Braunerden des Hohen Vogelsbergs. Die Lockerbraunerden wurden erstmals von SCHÖNHALS (1957 a) aus dem Vogelsberg, dem Taunus und der Rhön beschrieben und mit folgenden Eigenschaften charakterisiert:

- a) optimale Lockerheit
- b) leuchtendbraune Farbe
- c) starke Acidität
- d) Armut an Nährstoffen
- e) trotz des extrem basenarmen Solums, der hohen Niederschläge, der niedrigen Jahreslufttemperatur und der für die Podsolierung günstigen Vegetation (Fichte) keine Podsolierung bzw. Pseudovergleyung
- f) keine nennenswerte Verlagerung der Sesquioxide und kolloidalen Stoffe
- g) hoher Sesquioxid- und Schluffgehalt
- h) relativ geringe Entwicklungstiefe (40-50 cm)
- i) keine deutlich unterscheidbaren Horizonte

Aufgrund des Profilaufbaus und der analytisch ermittelten Eigenschaften wurde der Boden der Klasse der Braunerden zugeordnet und wegen seiner besonderen Eigenschaften als Lockerbraunerde bezeichnet.

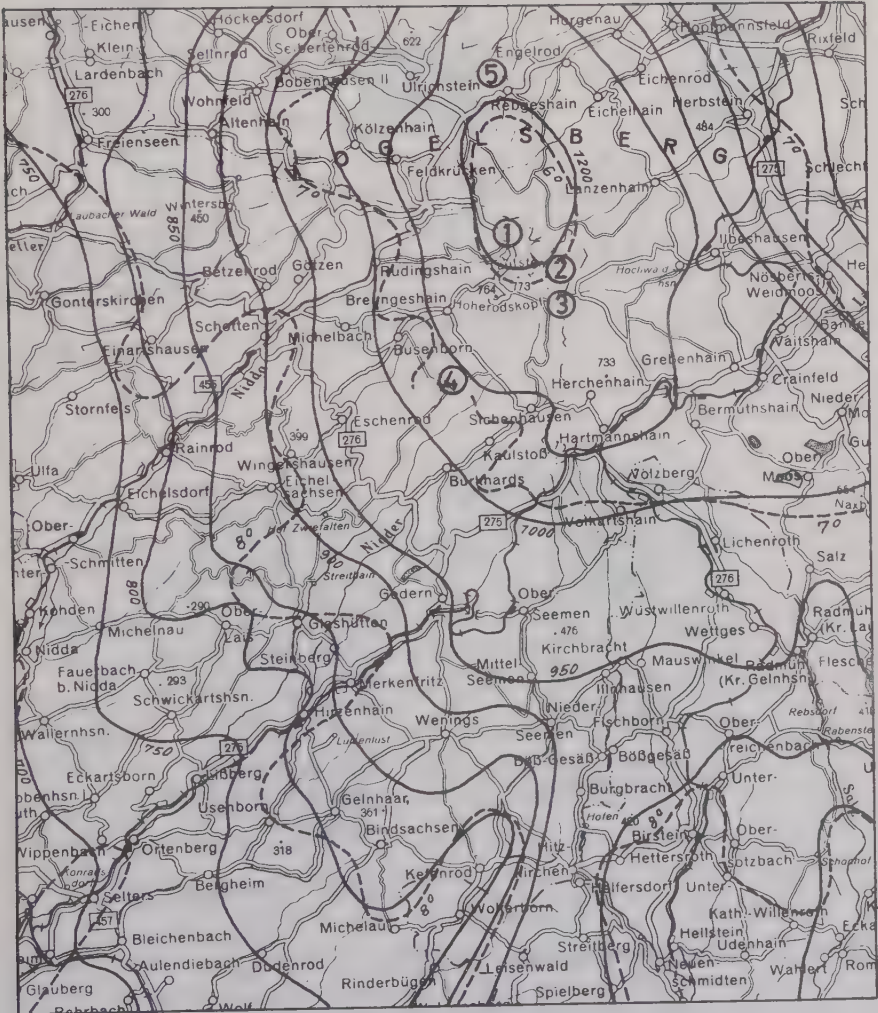
Die Entstehung dieser Böden wurde von SCHÖNHALS auf die Ablagerung spätglazialer äolischer Deckschichten zurückgeführt. Die Annahme stützt sich auf die lößähnliche Korngrößenverteilung und den hohen Quarzgehalt. Als Ursache des in der Deckschicht vorkommenden Skelettmaterials wurden Bodenfließen und Kryoturbationsvorgänge angesehen.

Abb. 1 - Entstehung und Lage der Profile

Weiterhin wurde auf einen an einigen Stellen zwischen der Deckschicht und dem darunterliegenden Solifluktionsschutt vorkommenden humosen Horizont und dessen Bedeutung für die Datierung hingewiesen. SCHÖNHALS nahm aufgrund dieses Horizonts an, dass zwischen der Bildung des Solifluktionsschutts und der Deckschicht während einer gewissen Zeit eine Vegetationsdecke bestand und zwar während des Allerödinterstadials. SEMMEL (1968) bezeichnet diesen humosen Horizont als Schwarzerderest.

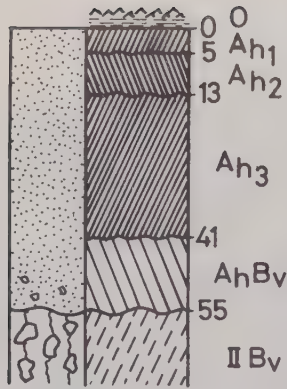
Ausser den bereits erwähnten Vorkommen sind Lockerbraunerden noch aus folgenden Mittelgebirgen bekannt geworden: Habichtswald (SCHÖNHALS 1957 b), Eifel (SCHÖNHALS 1959), Odenwald (BARGON 1960), südwestliches Rheinisches Schiefergebirge (STÖHR 1963), Bayerischer Wald (BRUNNACKER 1965). Böden mit hohem, tiefreichendem Humusgehalt erwähnt SCHÖNHALS (1957 a) auch von der Wasserkuppe in der Rhön. Später wurden von SCHÖNHALS im Hohen Vogelsberg ebenfalls dunkle, stark humose Böden beobachtet, die bei Strassenbauarbeiten "An der Heide" aufgeschlossen waren (pers. Mitt.).

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen an den Lockerbraunerden erhob sich die Frage nach den Ursachen des unterschiedlichen Humusgehalts und ob es sich bei den genannten humosen Lagen um fossile Bildungen handelt. Um diese Fragen zu beantworten und um die Eigenschaften der organischen Substanz der Lockerbraunerden und der Sauren Braunerden zu ermitteln, wurden drei Lockerbraunerdeprofile im Oberwald und zwei Profile der Sauren Braunerde (Rebgeshain unter Acker, Bilstein unter Wald) untersucht (vgl. Abb. 1 u. 2).

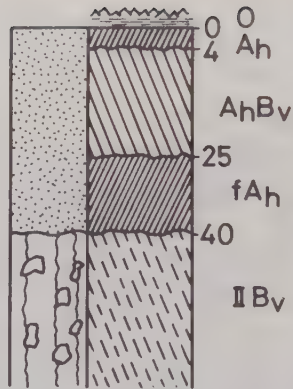


Quelle: Gewässerkundliches Kartenwerk Hessen 1959

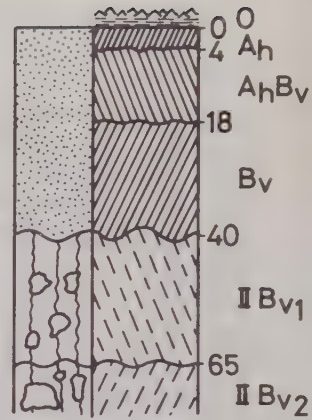
Abb.1: Klima und Lage der Profile



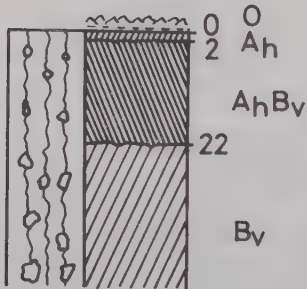
①



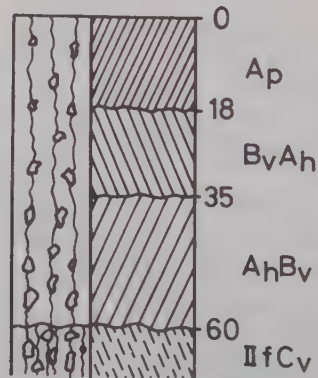
②



③



④



⑤

Abb. 2: Horizontfolge der Profile

2. BESCHREIBUNG DER BODENPROFILE UND ANGEWANDTE UNTERSUCHUNGS- METHODEN

2.1. Profilbeschreibungen

Profil: Humose Lockerbraunerde

Ort:	Oberwald	
	Top.Karte: 1:25 000,Ulrichstein-5421	
	Rechts: 35 16 81	Hoch: 55 98 63
Lage:	flacher NNW-Unterhang des Taufsteins (2 ⁰)	
	724 m NN	
Klima:	ca. 1200 , 5,5 ⁰ C	
Ausgangsgestein:	Decksediment (Lößkomp.,Basalt-und Basalttuff-verwitterungsprodukte sowie Laacher See-Bims-tuff) über Solifluktionsschutt.	
Nutzung:	Fichtenbestand (39 jährig)	
Bodentyp:	Lockerbraunerde	
O _L	2 cm	Fichtenstreu
O _F	1 cm	schwach zersetzte Fichtenstreu
O _H	1 cm	Moder
A _{h1}	0 - 5 cm	schluffig-toniger Lehm,dunkelbraun (5 YR 3/4), humusreich ¹ ,sehr locker und sehr stark durchwurzelt,allmählicher Übergang zum
A _{h2}	5 -13 cm	schluffig-toniger Lehm,dunkelgraubraun (10 YR 3/2-2/2), sehr stark humos,sehr locker und stark durchwurzelt,krümelig,allmählicher Übergang zum
A _{h3}	13-42 cm	schluffig-toniger Lehm,dunkelgraubraun (10 YR 2/2),sehr stark humos,sehr locker und stark durchwurzelt,krümelig,vereinzelte Basaltsteine,

1) Bezeichnung der organischen Substanz nach:Kartieranleitung,
Hannover 1971,2.Aufl.,Hrsg.:Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde

		allmählicher Übergang zum
A _h B _v	41-55 cm	schluffig-toniger Lehm, gelblichgrau-braun (10 YR 4/4-3/2), humos, locker und stark durchwurzelt, eckige und einzelne an der Oberfläche verwitterte Basaltsteine, allmählicher Übergang zum
IIB _v	55 +	schluffiger Lehm, gelbbraun (10 YR 5/6), schwach humos, weniger locker, wenig durchwurzelt, stark steinig

Profil: Lockerbraunerde Taufstein

Ort:	Oberald
	Top. Karte: 1:25 000, Ulrichstein-5421
	Rechts: 35 17 28 Hoch: 55 97 92
Lage:	sehr schwach geneigter O-Hang (2,5°) 750 m NN
Klima:	ca. 1200 mm, 5,5°C
Ausgangsgestein:	Decksediment (Lößkomp, Basalt- und Basalttuffverwitterungsprodukte sowie Laacher See-Bims-tuff) über Solifluktionsschutt
Nutzung:	Buchenbestand (106 jährig)
Bodentyp:	Lockerbraunerde
O _L	2 cm Buchenblätter
O _F	1 cm schwach zersetzte Buchenblätter
O _H	1 cm Moder
A _h	0 - 4 cm schluffig-toniger Lehm, dunkelbraun (5 YR 3/4), humusreich, sehr locker und sehr stark durchwurzelt, krümelig, allmählicher und undeutlicher Übergang zum
A _h B _v	4 - 25 cm schluffig-toniger Lehm, gelblichgrau-braun

(7,5 YR 5/4-4/4), stark humos, sehr locker und krümelig, sehr stark durchwurzelt, allmählicher Übergang zum

FA_h 25-40 cm schluffig-toniger Lehm, dunkelgrau-braun (10 YR 3/4), stark humos, sehr locker und sehr stark durchwurzelt, krümelig, stark verwitterte feine Basaltbröckchen, deutlicher welliger Übergang zum

IE_h 40-60 cm schluffiger Lehm, gelbbraun (10 YR 6/8-5/6), schwach humos, schwach durchwurzelt, weniger locker, stark steinig

Profil: Typische Lockerbraunerde

Ort: Oberwald
 Top.Karte: 1:25 000, Ulrichstein-5421
 Rechts: 35 18 25 Hoch: 55 97 58

Lage: sehr schwach geneigter SO-Hang (2°)
 650 m NN

Klima: ca. 1200 mm, 5,5°C

Ausgangsgestein: Decksediment (Lößkomp., Basalt- und Basalttuffverwitterungsprodukte sowie Laacher See-Bims-tuff) über Solifluktionsschutt

Nutzung: Fichtenbestand (80-97 jährig)

Bodentyp: Lockerbraunerde

OL 2 - 3 cm Fichtenstreu

OF 1 cm schwach zersetzte Fichtenstreu

OH 1 cm Moder

A_h 0 - 4 cm schluffig-toniger Lehm, dunkelbraun (5 YR 3/4), humusreich, sehr locker und sehr stark durchwurzelt, krümelig, allmählicher und undeutlicher Übergang zum

$A_h B_v$	4 - 18 cm	schluffig-toniger Lehm, dunkelgelblichgraubraun, (10 YR 4/4), stark humos, sehr locker, stark durchwurzelt, krümelig, allmählicher Übergang zum
B_v	18-40 cm	schluffig-toniger Lehm, dunkelgelblichbraun (10 YR 4/4), stark humos, sehr locker, gut durchwurzelt, krümelig, allmählicher Übergang zum
IIB_{v1}	40-65 cm	schluffiger Lehm, gelblichbraun (10 YR 4/4), humos, weniger locker, steinig, allmählicher Übergang zum
IIB_{v2}	65 +	schluffiger Lehm, gelbbraun (7,5 YR 4/4), schwach humos, weniger locker, stark steinig

Profil: Bilstein

Ort:	Bilstein
	Top.Karte: 1:25 000, Gedern-5521
	Rechts: 35 14 66 Hoch: 55 95 06
Lage:	stark geneigter SO-Hang (11°) 630 m NN
Klima:	ca. 1100 mm, 7°C
Ausgangsgestein:	Solifluktionsschutt (Lößlehm, Basaltverwitterungsmaterial)
Nutzung:	Buchenbestand (95 jährig)
Bodentyp:	Saure Braunerde
O_L	2 cm schwach zersetztes Buchenlaub
O_{FH}	1 cm mullartiger Moder
A_h	0 - 2 cm schluffiger Lehm, dunkelgraubraun (5 YR 4/1), sehr stark humos, locker, stark durchwurzelt, allmählicher Übergang zum

A _h B _v	2-22 cm	schluffiger Lehm, dunkelgrau Braun (10 YR 4/2), stark humos, stark durchwurzelt, steinig, allmählicher Übergang zum
B _v	22- 52 cm	schluffiger Lehm, Braun (10 YR 4/3), humos, locker, stark durchwurzelt, grusig, stark steinig

Profil: Rebgeshain.

Ort:	Ulrichstein-Rebgeshain Top. Karte: 1:25 000, Ulrichstein-5421 Rechts: 35 16 12 Hoch: 56 03 80
Lage:	sehr schwach geneigtes NNW-Plateau (1,5°) 615 m NN
Klima:	ca. 1100 mm, 5,5°C
Ausgangsgestein:	Solifluktionsschutt (Lößlehm, Basaltverwitterungsmaterial und Basaltsteine) über älterem Solifluktionsschutt aus Basaltverwitterungsprodukten, Basaltsteinen und geringeren Lößlehmbeimengungen
Nutzung:	Acker
Bodentyp:	Saure Braunerde

A _p	0 - 18 cm	sandig-lehmiger Schluff, dunkelbraun (10 YR 3/3), stark humos, stark durchwurzelt, krümelig, steinig, allmählicher Übergang zum
B _v A _h	18-35 cm	sandig-lehmiger Schluff, dunkelgelblichbraun, (10 YR 3/4), stark humos, stark durchwurzelt, krümelig, steinig, allmählicher Übergang zum

A_{hB_v}	35-60 cm	sandig-lehmiger Schluff, dunkelgelblich-braun (10 YR 3/4), mässig humos, krümelig, steinig, durchwurzelt, allmählicher Übergang zum
$IIfC_v$	60 +	sandig-lehmiger Schluff, dunkelgelblich-braun (10 YR 3/4), mässig humos, krümelig, sehr steinig

2.2. Angewandte Untersuchungsmethoden

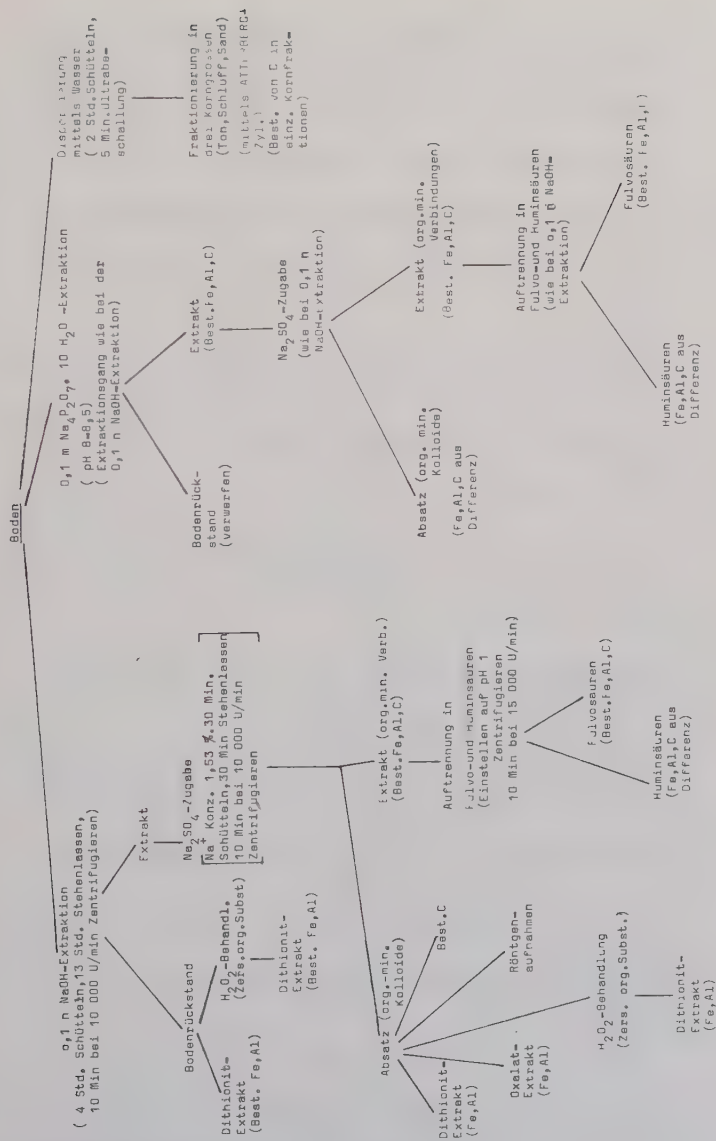
1. Bodenvorbereitung: Das Probenmaterial wurde vor der Trockensiebung auf $< 2\text{ mm}$ bzw. $< 0,2\text{ mm}$ an der Luft getrocknet, während der Trocknung mit den Fingern zerrieben sowie von Steinen, Bestandsabfällen und Wurzeln befreit. Messung des pH-Wertes, Bestimmung der Korngrößenverteilung und der Austauschkapazität und sorbierte Kationen erfolgte in $< 2\text{ mm}$ Feinboden, die übrigen Bestimmungen wurden dagegen in $< 0,2\text{ mm}$ Feinboden durchgeführt.
2. Farbwerte: Nach MUNSELL-Farbtafeln im feuchten Zustand
3. Bodenreaktion (pH-Wert): Mittels Glaselektrode in n KCl-Lösung und Wasser; Verhältnis Boden/Extraktionsmittel 1 : 2,5.
4. Korngrößenverteilung: Bestimmung von Ton und Schluff nach der "KÖHN'schen Pipettmethode", Sand durch Nass-Siebung, Dispergierung mit 0,4 n $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Lösung (LÜTTNER & JUNG),

eisen-und humusreiche Proben: Humuszerstörung mittels H_2O_2 und Entfernung der Eisenoxide nach MEHRA & JACKSON.

5. Gesamtaustauschkapazität und sorbierte Kationen: Nach MEHLICH (1948,1960); Bestimmung von sorbierten Metall-
ionen und Ba flammenphotometrisch (H titrimetrisch)
6. Fe,Al und Mn (dithionitlöslich): Extraktion nach MEHRA
& JACKSON (1960),Messung mittels Atomabsorptionsspektral-
photometer
7. Fe,Al und Mn (Ammoniumoxalatlöslich): Extraktion nach
SCHWERTMANN (1964),Messung wie 5.
8. Kohlenstoffbestimmung: a) nasse Verbrennung: Oxydation des
Kohlenstoffes mit Dichromat-Schwefelsäure und Rücktitration
mit Eisen-II-Ammoniumsulfat (Indikator : Ferroin)
b) trockene Verbrennung: mittels Gasanalysegerät von WÜST-
HOFF,Bestimmung nach SCHLICHTING & BLUME (1966)
zu a: Bestimmung des C-Gehaltes der Wasser-,Säure-und Lauge-
Extrakte und des nicht extrahierbaren Anteils der organischen
Substanz (Humine).
zu b) Bestimmung des Gesamtkohlenstoffes und des C-Gehalts
der Huminsäuren,der organo-mineralischen Kolloide und der
Hauptkornfraktionen.
9. Bestimmung des Humifizierungsgrades: Extraktion der Humin-
stoffe in NaOH-Na-Oxalat und photometrische Bestimmung der
Farbintensität nach SPRINGER (1948) mittels ZEISS-Spektral-
photometer.
- 10.Bestimmung der Humifizierungsart: Extraktion wie 9,photo-

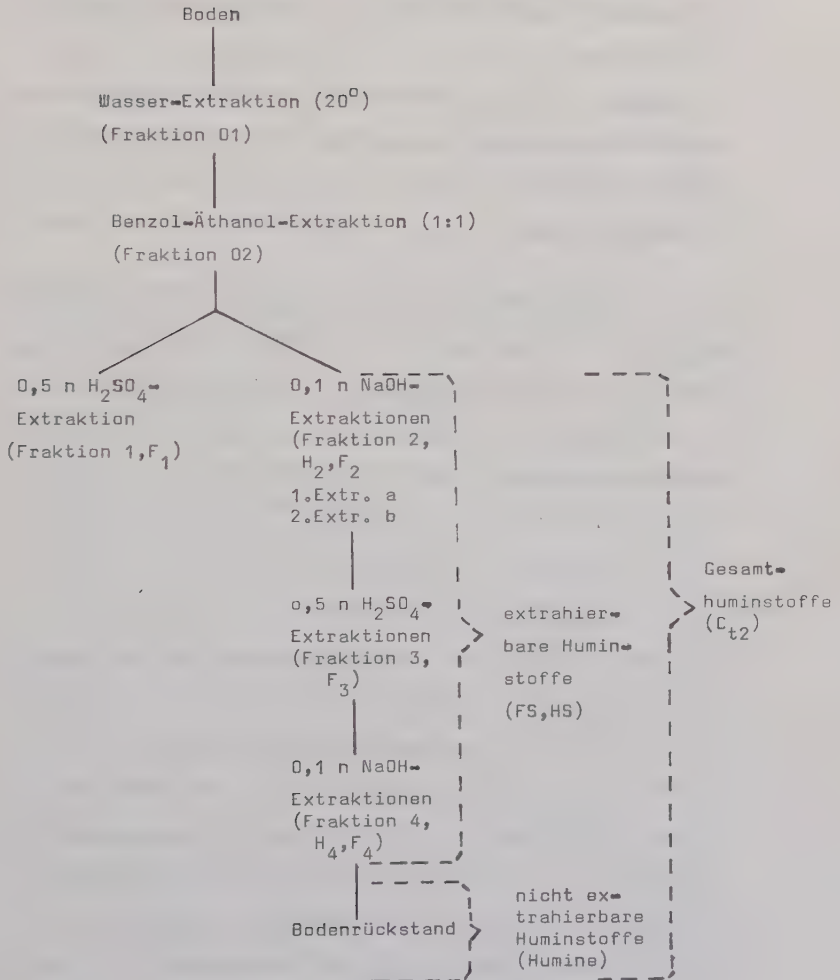
metrische Bestimmung der Farbintensität bei 472 und 664 nm
(WELTE, 1956)

11. Fraktionierung der Fulvosäuren: In Anlehnung an ROCHUS (1965) nach $Al_2(SO_4)_3$ -Zugabe die Fulvosäureextrakte mit NaOH auf pH 6 bringen, 10 Min. bei 15 000 U/min zentrifugieren (MSE-Kühlzentrifuge-High-Speed 17 bei $20^{\circ}C$), Bestimmung des Kohlenstoffes in der überstehenden Flüssigkeit (nasse Verbrennung), Berechnung des koagulierbaren Kohlenstoffes aus der Differenz.
12. Gewinnung der Huminsäuren: Extraktion mit 0,1 n kalter NaOH (nach Benzol-Äthanol -und 0,1 n H_2SO_4 -Vorbehandlung), Fällung mit 5 n H_2SO_4 bei pH 1, Reinigung mit NaOH + NaF nach FIEDLER (1965).
13. Bestimmung des C-Gehaltes der Huminsäuren: mittels WÜSTHOFF-Gerät in 0 -50 mg C-Bereich.
14. Die Bestimmung der $Q_{4/6}$ -Werte und die Absorptionskurven der Huminsäuren nach WELTE (1956), 68 mg C/ Liter Na-Humatlösung bei 10mm Schichtdicke, Lösung der Huminsäuren in 0,01 n NaOH
15. Die Bestimmung des N-Gehaltes: Aufschluss mit H_2SO_4 nach KJELDAHL, Ammoniakisolierung durch Wasserdampfdestillation mit NaOH, titrimetrische Bestimmung des in H_3BO_3 aufgefangenen NH_3 mit HCl.
16. Die organo-mineralischen Kolloide und Verbindungen:
Schema Nr. 1, S. 13.



Scheme 1: Analysengänge der organo-mineralischen Kolloide und Verbindungen

- 16 a: Bestimmung des Eisens und Aluminiums: in den Extrakten nach Zerstörung der organischen Substanz mit Perchlorsäure, Messung mittels Atomabsorptionsspektralphotometer, in Kolloiden wie unter 5 und 6.
- 16 b: Bestimmung des Kohlenstoffs: in den Extrakten nasse Verbrennung, in Kolloiden und in Korngrößen trockene Verbrennung.
- 16 c: Röntgenaufnahmen der organo-mineralischen Kolloide: Humuszersetzung mittels H_2O_2 und Entfernung der Eisenoxide mit Dithionit, Aufnahmen mittels "MÜLLER Mikro 111" Röntgenapparat.
17. Fraktionierung der organischen Substanz: in Anlehnung an die von TYURIN (1951), PONOMAREVA (1957) und DORMAAR (1964) publizierten Methoden
- a) Das Extraktionsschema und die Bezeichnung der Fraktionen (siehe Schema 2, S. 15).
- Fraktion 01 (Wasserextrakt): niedermolekulare organische Verbindungen (z.B. freie Zucker, freie Aminosäuren)
- Fraktion 02 (Benzol-Äthanol -1:1- Extrakt): Zucker, Fette, Wachse, Harze u.a.
- Fraktion 1 (0,5 n H_2SO_4 -Extrakt): freie Fulvosäuren und deren Komplexverbindungen mit den mobilen Hydraten der Sesquioxide
- Fraktion 2 (0,1 n NaOH-Extrakt): freie Huminstoffe (Fulvosäuren und Huminsäuren), an mobile hydratisierte Sesquioxide gebundene Huminstoffe und an Huminsäuren gebundene Fulvosäuren



Schema 2: Das Extraktionsschema und die Bezeichnung der Fraktionen

Fraktion 3 (0,5 n H_2SO_4 -Extrakt): fester an anorganische Bodenkonstituenten, überwiegend an Sesquioxide, gebundene Fulvosäuren

Fraktion 4 (0,1 n NaOH-Extrakt) : an Sesquioxide geringer Mobilität gebundene Huminstoffe, Ca-Humate und an Huminsäuren gebundene Fulvosäuren

Bodenrückstand : Humine

b) Durchführung der Fraktionierung von organischer Substanz:

Fraktion 01 (Wasserextraktion): Ein Teil des feingesiebten Materials (25 g bei Mineralboden bzw. 10 g beim Auflagehorizont) mit 50 ml destilliertem Wasser in einem Plastikzentrifugenbecher dispergieren (umrühren und 30 Min. schütteln) und 10 Min. bei 4 000 U/min zentrifugieren. Um ein Absetzen der feinen Wurzelteile zu vermeiden, ist keine höhere U-Zahl zu verwenden. Zur Entfernung der in der überstehenden Flüssigkeit schwimmenden Wurzeln wurde der Extrakt über ein Sieb (50 μ Maschenweite) gegeben, wieder in den gleichen Zentrifugenbecher überführt, nochmals dispergiert, 10 Min. bei 15 000 U/min zentrifugiert und dekantiert. Der Zweck der zweiten Zentrifugation ist die Absetzung der sich in dem Extrakt befindenden Bodenteilchen. Die Wasserextraktion wurde einmal wiederholt, die Extrakte vereinigt, filtriert und zur Bestimmung ihrer C-Gehalte bei 80⁰ C getrocknet.

Das Probenmaterial wurde bei 60⁰ C getrocknet und zur weiteren Extraktion der organischen Substanz in Extraktionshülsen eingefüllt.

Fraktion 02 (Benzol-Äthanol-Extraktion): Die Extraktion wird in der Soxhlett-Apparatur mit einem Benzol-Äthanol-Gemisch (1:1) ausgeführt. Sie wird so lange fortgesetzt, bis sich das Lösungsmittel nicht mehr färbt. Nach beendeter Extraktion wird die Hülse mit dem Boden aus dem Apparat genommen und an der Luft bei Zimmertemperatur bis zum Verschwinden des Alkohol-Benzol-Geruches getrocknet.

Fraktion 1 (0,5 n H_2SO_4 -Extraktion): Boden mit 200 ml 0,5 n H_2SO_4 im Zentrifugenbecher 4 Std. gerührt, 13 Std. stehen gelassen und 10 Min. bei 10 000 U/min zentrifugiert (MSE-Kühlzentrifuge) und die überstehende Lösung dekantiert. Bestimmung des Gesamt-C-Gehaltes mittels nasser Verbrennung nach Neutralisation mit NaOH auf pH 6 und Eindampfen der Lösung bei 80° C im Trockenschrank in einem Aliquot des Extraktes.

Fraktion 2 (0,1 n NaOH-Extraktion):

a) Boden mit 100 ml 0,1 n NaOH versetzen (im Zentrifugenbecher N_2 zugeführt), 4 Std. geschüttelt und über Nacht stehen lassen, (13 Std.), 25 ml gesättigte Na_2SO_4 zusetzen, 30 Min. stehen lassen, 10 Min. bei 10 000 U/min zentrifugieren. Trennung des Gesamtextraktes in Humin- und Fulvosäurefraktionen durch zweimalige Fällung der Huminsäuren bei pH 1 (5 n H_2SO_4 , Glaselektrode), erhitzen im Thermostat (20 Min. bei 80° C) und nach Abkühlung 10 Min. bei 15 000 U/min zentrifugieren. Die nicht säurefällbaren Anteile (Fulvosäuren) vereinigen. Huminsäuren nach der zweiten Fällung wiederum mit NaOH peptisieren und in ein Becherglas überführen. Nach Neutralisation auf pH 6

(Huminsäure mit H_2SO_4 , Fulvosäure mit NaOH), Bestimmung des C-Gehalts von Humin- und Fulvosäuren mittels nasser Verbrennung

b) Wiederholung von a.

Fraktion 3 (0,5 n H_2SO_4 -Extraktion): Im Unterschied zu der ersten Säureextraktion: 100 ml 0,5 n H_2SO_4 statt 200 ml und zweimalige Extraktion, Vereinigung beider Extrakte.

Fraktion 4 (0,1 n NaOH -Extraktion): Wie vorangegangene NaOH -Extraktion. Abweichend davon: Vereinigung beider Extrakte

Bodenrückstand: In Becherglas überführen, neutralisieren, mittels nasser Verbrennung C-Gehalt bestimmen.

Im Verlauf der Humusforschung sind eine Vielzahl von Fraktionierungsmethoden vorgeschlagen worden. Richtungsweisend sind vor allem die von russischen Bodenkundlern ausgearbeiteten Verfahren zur Kennzeichnung der Huminstoffgruppen, die es in Annäherung erlauben, die organische Substanz aufgrund ihrer Löslichkeit und somit ihres Bindungszustandes in verschiedene Fraktionen einzuteilen. Die zur Zeit gebräuchlichsten Extraktionsmethoden sind die von TYURIN (1951), PONOMAREVA (1957) und KONONOVA & BELCHIKOVA (1961) bzw. auf diese zurückgehende Modifikationen (u.a. DORMAAR 1964). Eine zusammenfassende Darstellung findet sich bei KONONOVA (1967). Die Extraktionsschemen oben genannter Autoren differieren voneinander. Die Fraktionsbezeichnungen sind aber in etwa die gleichen.

Nach KONONOVA (1967) ist das Prinzip der Fraktionierung hypo-
thetisch. Es charakterisiert nicht so sehr den Typ als viel-
mehr die Stabilität der Bindung zwischen Humus und Mineralen,
die durch die Behandlung von H_2SO_4 und NaOH zerstört wird.

BARANOVSKAYA (1966) verglich die Methoden TYURINS, KONONOVAS
und BELCHIKOVAS am gleichen Material. Mit einer Wahrschein-
lichkeit von 95 % ($t=21$) liegen alle Werte innerhalb des Ver-
trauensbereiches. BLUME (1965) vertritt die Ansicht, dass die
Huminstoffgruppenanalyse nach TYURIN sowie verwandte Methoden
nicht sehr selektiv sind. Sie seien nur dort brauchbar, wo Streu-
stoffe weitgehend fehlen. LÖWE (1969) meint, dass man vom Boden-
typ nicht auf die Zusammensetzung der organischen Substanz oder
umgekehrt schliessen kann.

Für die Extraktion von Huminstoffen bieten sich mehrere Rea-
genzien an. Am häufigsten werden alkalische Extraktionsmittel
wie NaOH angewendet, die auch bei vorliegender Arbeit heran-
gezogen wurden. In diesem Zusammenhang wurden einige Vorversuche
durchgeführt. Unter den Extraktionsmitteln 0,1 n NaOH, 0,5 %
 Na_2CO_3 , 0,5 % NaF, 0,1 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ und ÄDTE wurde die höchste
Ausbeute mit NaOH erzielt. Die Ausbeute mit NaOH und mit $\text{NaOH} +$
 $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ bei gleicher Na-Konzentration war bei verschiedenen
Horizonten unterschiedlich, z.B. bei den Horizonten O_{FH} , A_{h1} , A_{h2} ,
 A_{h3} , A_{hBv} der humosen LBE (Lockerbraunerde) und O_{FH} , A_{h} der ty-
pischen LBE wurde mit 0,1 n NaOH mehr C extrahiert als mit
0,1 n NaOH + 0,1 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ während die C-Ausbeute der übrigen
Horizonte dieser Profile mit $\text{NaOH} + \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ höher war. Auch durch

Vorbehandlung mit Säure änderte sich dieses Bild nicht. Der überschüssige Kohlenstoff des NaOH-Extraktes geht bei der Trennung des Extrakts in Fulvo- und Huminsäuren in die Huminsäurefraktion über. Dadurch erwies sich die Methode von KONONOVA & BELCHIKOVA (1961) bei den untersuchten Böden als nicht anwendbar.

BORATINSKI & WILK (1962) extrahierten die organische Substanz mit 0,1 n NaF, $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ und NaOH. Dabei stellten sie fest, dass mit NaF und $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ die gleiche Menge extrahiert wird, mit $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 1,5 und mit NaOH 2,5 mal mehr als mit NaF. Die Huminsäureausbeute betrug 1 : 1,75 : 3. Von den Extraktionsmitteln 0,5 n NaOH, 0,1 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, 0,5 m NaF und DOWEX A-1 erzielte YUAN (1964) mittels NaOH die höchste Ausbeute. Einige Autoren, u.a. SCHEFFER & ULRICH (1960), SCHEFFER, ZEICHMANN & PAWELKE (1960) und HESS (1965) weisen auf die Veränderung der Huminstoffe bei der NaOH-Extraktion hin. Dagegen behauptet KONONOVA (1958), dass bei der Anwendung von 0,1 n NaOH keine wesentliche Veränderung hervorgerufen wird. Auch aus der Untersuchung von SCHNITZER & SKINNER (1968) geht hervor, dass die Alkaliextraktion keine nachweisbare Veränderung der extrahierten organischen Substanz bewirkt. Die in der Literatur der alkalischen Extraktion zugeschriebenen Wirkungen sollen besonders bei Bodenhumusverbindungen übertrieben sein.

Um die mögliche Gefahr einer oxydativen Veränderung der organischen Substanz bei der NaOH-Extraktion zu verhindern, wurden die NaOH-Extraktionen unter Ausschluss von Sauerstoff ausgeführt (Stickstoff-Atmosphäre).

Neben dem Extraktionsmittel müssen auch Extraktionszeit, Extraktionstemperatur, Konzentration des Extraktionsmittels, Intensität des Schüttelns, Vorbehandlung mit verdünnten anorganischen Säuren, Verhältnis Boden zu Extraktionsmittel sowie Häufigkeit der Extraktion bei der Huminstoffgewinnung berücksichtigt werden. Zur Feststellung der optimalen NaOH-Konzentration wurde der A_{h3} -Horizont der Humösen LBE mit NaOH verschiedener Konzentration (0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5) extrahiert. Die höchste Ausbeute wurde mittels 0,2 n NaOH erzielt. Diese Ergebnisse stimmen in etwa mit den von LEVESQUE & SCHNITZER (1966) überein. Nach diesen Autoren konnte die höchste Ausbeute bei einer Konzentration von 0,1 und 0,15 n erzielt werden. Da aber bei diesen Konzentrationen der Aschegehalt gross war, wurde als optimale Konzentration 0,5 n vorgeschlagen.

Zur vollständigen Extraktion empfiehlt KONONOVA eine Säurevorbehandlung. Dabei soll eine Lockerung der sorbierten Teilchen und teilweise eine Hydrolyse der organischen unspezifischen Stoffe erfolgen. ALEXANDROVA (1967) vertritt auch die Ansicht, dass die an mobilen hydratisierten Sesquioxiden gebundenen Huminstoffe nicht ohne Säurevorbehandlung in NaOH dispergierbar bzw. löslich seien. Wie aber LEVASHKEVICH (1966) experimentell nachweisen konnte, ist eine vollständige Peptisierung der an nicht oder nur wenig gealterten Sesquioxiden gebundenen Huminstoffe möglich (zit. b. PREUSSE 1969). Ferner soll bei geringem Ca-Sättigungsgrad auch die Peptisierung von Ca-Humaten im unmittelbaren Alkaliextrakt möglich sein, worauf TYURIN und

NAYDENOVA (1951, zit. b. ALEXANDROVA 1967) hinweisen. Ausserdem empfehlen GASCHO & STEVENSON (1968) die Vorbehandlung des Bodens mit 0,3 n HF zur Zerstörung der hydratisierten Silikatminerale, SCHEFFER u. a. (1960) eine Extraktion vor NaOH mit organischen Lösungsmitteln in den Fällen, wo hauptsächlich nicht stabile Huminsäuren vorliegen, und BORATINSKI & WILK (1962) die $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Extraktion (bei pH 7,0) vor NaOH zur Extraktion der mobilen Humuskomponente. SCHNITZER (1967) erzielte auch in Torfböden mit 0,1 n NaOH nach der HCl-HF-Vorbehandlung höhere Ausbeute und bessere Abtrennung der Fulvosäuren als mit 0,5 n NaOH-Extraktion ohne Vorbehandlung.

3. KENNDATEN DER PROFILE

3.1. Die Bodenreaktion (pH-Wert)

Je nach der chemischen Beschaffenheit eines Bodens findet man bei seiner Suspension in Wasser oder in KCl-Lösung eine saure, basische oder neutrale Reaktion. Als Ursache dafür wird die Dissoziation von Wasserstoff- und Hydroxylionen angesehen. Sowohl hinsichtlich der Eignung als Pflanzenstandort als auch bezüglich der Bodenentwicklung wird dieser Eigenschaft des Bodens eine ausserordentliche Bedeutung zugemessen.

Die pH-Werte der untersuchten Böden sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Wie man aus der Tabelle ersieht, zeigen alle Profile sauren Charakter.

Profil Bilstein: stark bis mässig sauer

Profil Rebgeshain: stark sauer

Lockerbraunerden: sehr stark bis mässig sauer

(Bezeichnung nach FIEDLER & REISSIG 1965).

Die niedrigen pH-Werte der Böden sind auf Klima, Vegetation und Ausgangsmaterial zurückzuführen. Bei hohen Niederschlägen, carbonatfreiem Ausgangsmaterial und Waldvegetation setzen die niedermolekularen organischen Verbindungen, die nicht gepuffert werden können und deren weitere Polymerisation gehemmt wird, die Reaktion der Böden herab.

Im Profil Rebgeshain ist freies Carbonat weniger als 0,5 %

Profil	Horizont	pH-Wert	
		in n KCl	in Wasser
Humose LBE	O	2,75	3,50
	A _{h1}	3,55	4,15
	A _{h2}	3,90	4,35
	A _{h3}	4,00	4,45
	A _h B _v	4,06	4,55
	IIB _v	3,91	4,60
LBE-Taufstein	O	2,50	3,22
	A _h	2,83	3,55
	A _h B _v 1	3,93	4,45
	A _h B _v 2	4,02	5,00
	fA _h	4,19	4,50
	IIB _v	4,00	4,40
Typische LBE	O	2,48	3,82
	A _h	2,85	3,41
	A _h B _v	4,00	4,23
	B _v	4,07	4,23
	IIB _{v1}	4,02	4,21
	IIB _{v2}	4,01	4,17
Bilstein	O	3,60	4,45
	A _h	3,71	4,60
	A _h B _v	3,97	5,00
	B _v	4,30	5,60
Rebgeshain	A _p	4,78	5,98
	B _v A _h	4,65	5,95
	A _h B _v	4,65	6,02
	IIfC _v	4,71	6,04

Tabelle 1. Die pH-Werte der Böden

(A_p 0,5 %, $B_v A_h$ 0,2 %), was auf Düngung zurückzuführen ist. Da-
gegen sind alle Waldprofile carbonatfrei.

Die pH-Werte des Ackerprofiles Rebgeshain sind höher als die
der Waldböden. In den Waldprofilen konnten hinsichtlich des pH-
Wertes bei verschiedener Vegetation keine Unterschiede fest-
gestellt werden.

Die Lockerbraunerden sind saurer als der Boden vom Bilstein,
was auf den hohen Anteil von Basaltmaterial zurückzuführen ist.

In den einzelnen Horizonten der Profile sind keine Schwankungen
der pH-Werte festzustellen. Im Profil Rebgeshain bleibt die
Reaktion des Bodens mit der Tiefe ziemlich gleich. In Waldpro-
filen sind die Auflage- und A_h -Horizonte sehr stark sauer. Aber
dann nehmen die Werte mit der Tiefe zu. In den LBE-Profilen ist
der pH-Wert des Solifluktionsschuttes wieder geringer.

Nach der Tiefenfunktion der pH-Werte lässt sich die Lockerbraun-
erde nicht von anderen Sauren Braunerden unterscheiden.

3.2. Die Korngrößenverteilung

Die Verteilung der Korngrößen innerhalb eines Profiles gibt
wertvolle Hinweise auf bodengenetische Prozesse, sofern nicht
unterschiedliche geologische Substrate oder horizontale Ver-
lagerungsvorgänge im Bereich des Solums die pedogenetischen
Prozesse überprägen.

Profil	Hori- zont	Ton < 2 μ	Fein- schluff 2-6 μ	Mittel- schl. 6-20 μ	Grob- schl. 20-63 μ	Fein- sand 63- 200 μ	Mittel- grob- schluff 200- 2000 μ	Ges.- schluff	Ges.- sand	Schluff- Ton-Ver- Hältn.
Humose LBE	A _{h1}	35,00						59,51	5,49	1,70
	A _{h2}	36,92	12,31	22,02	22,86	4,21	1,70	57,19	5,91	1,54
	A _{h3}	42,36	9,73	25,19	17,97	3,09	1,70	53,89	4,79	1,24
	A _{hB_v}	37,06	13,02	29,04	15,48	4,66	0,80	57,54	5,46	1,55
	II B _v	23,75	11,67	23,33	27,00	8,08	6,17	62,00	14,25	2,61
LBE-Taupst.	A _h	32,22						59,95	7,83	1,86
	A _{hB_v 1}	31,40	12,55	24,70	22,29	5,65	3,41	59,54	9,06	1,89
	A _{hB_v 2}	32,80	12,30	24,54	23,05	3,95	3,36	59,89	7,31	1,82
	A _h	32,85	12,85	22,88	22,70	5,00	3,72	58,43	8,72	1,78
	II B _v	19,70	11,60	22,85	30,05	7,95	7,85	64,50	15,80	3,27
Typische LBE	A _h	33,42						59,50	7,08	1,78
	A _{hB_v}	34,27	11,08	24,19	23,65	3,88	2,34	58,95	6,22	1,72
	B _v	31,79	6,91	28,11	23,50	6,68	2,41	58,52	9,09	1,84
	II B _{v1}	24,44	14,10	23,50	28,60	4,56	3,96	66,20	8,52	2,70
	II B _{b2}	27,10	11,04	24,09	27,10	6,07	4,00	62,23	10,07	2,29
Rebgeshain	A _p	14,59	16,17	20,63	27,55	11,63	11,43	62,35	23,06	4,27
	B _v A _h	14,53	15,42	19,78	23,12	13,71	11,74	58,32	25,05	4,01
	A _{hB_v}	14,40	14,85	20,05	21,56	14,50	14,64	59,46	29,14	3,92
	II C _v	16,06	12,80	14,89	19,55	16,14	19,55	48,25	35,69	3,00
Bilstein	A _h	23,50						61,08	15,42	2,59
	A _{hB_v}	22,10	13,88	19,40	22,83	6,20	15,49	56,21	21,69	2,54
	B _v	21,15	11,75	20,75	20,88	5,49	19,53	53,38	25,47	2,53

Tabelle 2. Die Korngrößenverteilung

*)

Aus der Dissertation von HILGER-ALEXANDROU (1973)

Über die Herkunft des Ausgangsmaterials der Lockerbraunerden des Vogelsbergs werden unterschiedliche Ansichten vertreten. Nach SCHÖNHALS (1957 a) ist dieser Boden aus einem lößartigen Material der jüngeren Tundrenzeit, das Solifluktionsschutt aus Lößlehm, Basalt und vulkanischen Verwitterungsprodukten überlagert, hervorgegangen. Auch die Untersuchungen von SCHWERTMANN & NIEDERBUDDÉ (1969) ergaben, dass der Boden besonders stark mit Löß vermengt ist. SEMMEL (1968) unterscheidet drei geologisch differenzierbare Substrate, die bodengenetisch in keinem erkennbaren Zusammenhang stehen (ca. 50 cm humoser feinsandiger Lehm, über ca. 25 cm hellbraunem Lehm, über ca. 25 cm tonigem Lehm).

Nach MEYER & SAKR (1970) ist dieser Boden aus geringmächtigem äolischem Decksediment der Jüngeren Tundrenzeit hervorgegangen. Das lockere, umgelagerte Lößmaterial wird als dominierende Materialkomponente des Decksediments bezeichnet und ferner die Beimengungen detritischen basaltischen Materials nachgewiesen.

Nach den neuesten Untersuchungen von POETSCH (1973) besteht das Ausgangssubstrat im Decksediment aus Lößkomponenten, Basalt- und Basaltpuff-Verwitterungsprodukten sowie Laacher See-Tuff.

Aus diesen Ausführungen ist abzuleiten, dass Löß und dessen umgelagerte Verwitterungsprodukte wesentliche Komponenten des Bodenausgangssubstrates bilden.

Wie aus Tabelle 2 zu ersehen ist, überwiegt in den Lockerbraun-

erden das feine Material (kleiner als 60μ). Der Tongehalt ist verhältnismässig hoch (19-42 %) und der Anteil der Schlufffraktion beträgt 52 bis über 66 %. Demgegenüber liegt der Sandgehalt unter 15 %.

Der Mittelschluff überwiegt in der Schlufffraktion des Decksediments, während im liegenden Solifluktionsschutt Grobschluff den höchsten Anteil hat. Bei den Sandfraktionen dominiert der Feinsand. Der Anteil $> 500 \mu$ im Decksediment dürfte nach SCHÖNHALS (1957) auf der Oberfläche verfestigt worden sein.

Interessant ist hier, dass der Gehalt an Schluff im Solifluktionsschutt höher ist als im Decksediment (etwa 60 %). Demgegenüber weist jedoch das Decksediment einen höheren Tongehalt (30-42 %) als der liegende Schutt (19-27 %) auf. Ausserdem erreicht der Sandgehalt im Solifluktionsschutt etwa 15 % während er im Decksediment unter 9 % bleibt. Somit lassen sich das Decksediment und der liegende Solifluktionsschutt entgegen der Ansicht von MEYER & SAKR (1970) aufgrund der Korngrössenverteilung voneinander unterscheiden. Nach deutlicher geht der Unterschied zwischen beiden Schichten aus dem Schluff-Ton-Verhältnis hervor. Dieses liegt ohne Ausnahme im Decksediment unter 2, im Schutt über 2.

Auch in den Profilen Rebgeshain und Bilstein dominiert die Schlufffraktion (Rebgeshain 48-62 %, Bilstein 53-61 %). Diese beiden Profile unterscheiden sich jedoch durch höhere Sand- und niedrigere Tongehalte von den Lockerbraunerden. In der

Schlufffraktion ist -wie im liegenden Solifluktionsschutt der Lockerbraunerden- der Grobschluff am stärksten vertreten.

Die mit zunehmender Tiefe abnehmenden Gehalte der feinen Kornfraktion kennzeichnen die höhere Verwitterungsintensität in den oberen Bodenhorizonten. Derartige Verwitterungserscheinungen sind in der Sauren Braunerde (SBE) von Rebgeshain und von Bilstein festzustellen. Der Basaltzersatzhorizont IIF_{Cv} im Profil Rebgeshain unterscheidet sich jedoch durch höheren Ton- und Sandgehalt und niedrigeren Schluffgehalt von dem darüberliegenden Solifluktionsschutt.

In den LBE-Profilen ist die Tiefenfunktion der einzelnen Fraktionen ziemlich gleich, und somit hat eine stärkere Verwitterung und Tonverlagerung nicht stattgefunden. Die Homogenität des Decksediments kann als Beweis für äolischen Transport angesehen werden. Eine Ergänzung durch chemische und vor allem mineralogische Untersuchungen ist jedoch notwendig. Auch die Frage, in welchem Umfang eine Beimengung von Fremdmaterial erfolgt ist, kann allein mit der Korngrößenverteilung nicht beantwortet werden.

3.3. Austauschkapazität und sorbierte Kationen

Die Austauschkapazität stellt ein wichtiges Kriterium für die physikalisch-chemischen Prozesse dar. Ihr Ausmass wird von dem absoluten Gehalt sowie von der Zusammensetzung der orga-

nischen (Huminstoffe) und anorganischen Kolloide (Tonminerale, in sehr geringem Ausmass Kieselsäure und Aluminium- und Eisenoxide bzw. Hydroxide) bestimmt.

Austauschkapazität: Die Austauschkapazitätswerte der untersuchten Profile bewegen sich zwischen 20,4 mval und 66 mval pro 100 g Boden (Summe der sorbierten Kationen Tabelle 3). Abgesehen von A_h -Horizonten weisen die LBE-Profile mit den SBE-Profilen vergleichbare Werte auf. Für die hohen Werte der oberen Horizonte der LBE-Profile dürfte die organische Substanz verantwortlich sein. Der starke Rückgang der Austauschkapazität vom A_h - zum A_{hB_v} -Horizont im Profil der Typischen Lockerebraunerde (auch starke Abnahme des Gesamt-C-Gehaltes) zeigt deutlich den starken Einfluss der organischen Substanz, da der Tongehalt in gleicher Richtung zunimmt. Die gleiche Erscheinung ist auch in A_h -Horizonten der Humosen LBE festzustellen. Dabei muss aber angenommen werden, dass die verglichenen Horizonte etwa gleiche Tonzusammensetzung aufweisen, da der Prozentualanteil der Tonfraktion u.U. wenig über ihr Austauschvermögen aussagt.

Da die Zusammensetzung der anorganischen Kolloide nicht bekannt ist, ist die Frage, worauf die Unterschiede in der Austauschkapazität zwischen den untersuchten Profilen zurückzuführen sind, schwer zu beantworten. Was die organische Substanz betrifft, dürfte ihr Austauschvermögen bei gleichbleibendem C-Gehalt aus folgenden Gründen von LBE-Profilen über Bilstein zu Rebgeshain zunehmen:

- a) Die Nicht-Huminstoffe besitzen ein sehr geringes bzw. gar kein Austauschvermögen. Ihr Anteil nimmt in der Reihenfolge LBE, Bilstein und Rebgeshain ab.
- b) Die Austauschkapazität der organischen Substanz nimmt mit steigendem pH-Wert des Bodens zu (RENGER 1965). Der pH-Wert der Böden steigt in der Reihenfolge LBE, Bilstein und Rebgeshain an.

Eindeutigere Tendenzen hinsichtlich des Einflusses anorganischer und organischer Austauscher dürfte jedoch unter Berücksichtigung der permanenten und der variablen Ladung zu erwarten sein.

Bedingt durch die organische Substanz nehmen die Austauschkapazitätswerte mit zunehmender Profiltiefe ab. Die Abweichungen von dieser Tiefenfunktion sind auf die Zweischichtigkeit der betreffenden Profile (Typische LBE und Rebgeshain) zurückzuführen.

Sorbierte Kationen und V-Wert: Die Summe der sorbierten Kationen¹ in SBE-Profilen übersteigt die Austauschkapazität. Dies ist im Profil Rebgeshain auf die Mineraldüngung und die Bestimmung der niedermolekularen Säuren, die jedoch am Kationenaustausch nicht beteiligt sind, zurückzuführen (YOSHIDA & NAKADATE 1964, zit. b. PREUSSE 1969). Im Profil Bilstein dürfte dieser Befund

1. In LBE-Profilen wurde die Austauschkapazität nicht bestimmt

Profil	Horizont	H+A1	Na	K	Mg	Ca	Σ	A _{kt}	V-Wert
Humose LBE	A _{h1}	64,6	<0,1	0,1	0,2	1,0	66,0		2,1
	A _{h2}	55,1	0	<0,1	0,1	0,9	56,2		1,9
	A _{h3}	49,7	0	<0,1	<0,1	0,9	50,8		2,1
	A _{hB_v}	38,6	0	<0,1	<0,1	0,9	39,7		2,7
	IIB _v	25,6	0	<0,1	<0,1	0,9	26,7		4,1
Typische LBE	A _h	58,1	0,1	0,6	0,5	0,7	60,0		3,2
	A _{hB_v}	36,5	<0,1	0,1	0,1	0,2	37,0		1,9
	B _v	26,1	<0,1	0,1	0,1	0,0	26,4		1,1
	IIB _{v1}	20,7	<0,1	0,1	0,1	0,1	21,1		1,8
	IIB _{v2}	20,8	<0,1	<0,1	2,6	1,5	25,1		17,1
Bilstein	A _h	36,0	0,03	0,5	0,6	5,2	42,33	40,60	14,95
	A _{hB_v}	22,0	0,06	0,05	0,35	2,4	24,85	24,00	11,50
	B _v	16,0	0,07	0,02	1,05	3,3	20,4	20,00	21,72
Rebgeshain	A _p	24,00	0,05	1,52	7,05	12,3	44,92	36,00	46,57
	B _v A _h	22,61	0,09	0,86	6,65	12,0	41,21	35,00	47,56
	A _{hB_v}	21,00	0,14	0,26	6,22	11,4	39,04	34,80	46,15
	IIFC _v	20,00	0,17	0,66	7,67	12,6	41,21	39,00	51,46

Tabelle 3. Die Austauschkapazität und sorbierte Kationen

(mval / 100 g Boden)

allein auf den niedermolekularen Säuren beruhen.

In allen untersuchten Profilen treten H-Ionen als dominierende Kationen auf. Sie machen in LBE-Profilen maximal 98,9 %, im Profil Bilstein maximal 88,5 % und im Profil Rebgeshain 53,8 % der sorbierten Kationen aus. Der höhere Prozentanteil der H-Ionen in diesen sauren Böden wird nicht allein von sorbierten H-Ionen bestimmt, sondern z.T. auch von vorhandenen austauschbaren Al-Ionen sowie den freien niedermolekularen organischen Säuren.

Von den sorbierten Kationen haben die Na-Ionen den geringsten Anteil, was auf ihre geringen Gehalte im Ausgangsmaterial, die starke Auswaschung und die geringe Haftfestigkeit zurückzuführen ist. Der Anteil der K-Ionen ist dem der Na-Ionen vergleichbar. In den oberen Horizonten des SBE-Profiles Rebgeshain findet man die höchste K-Sättigung, welche durch die Zufuhr von Mineraldünger bedingt ist. Im Vergleich zu den einwertigen Kationen haben die zweiwertigen den grösseren Sättigungsanteil ($\text{Ca} > \text{Mg}$).

Alle untersuchten Böden sind arm an Basen. Die V-Werte liegen besonders in LBE-Profilen sehr niedrig (im Decksediment 1,1-3,2). Im Vergleich zu den Waldprofilen weist das Profil Rebgeshain erheblich höhere V-Werte auf, welche z.T. auch auf die Mineraldüngung zurückzuführen sind. Auch der niedrige Prozentanteil der H-Ionen, hervorgerufen durch die organische Substanz, verursacht eine relative Erhöhung des V-Wertes in diesem Profil.

Der Anstieg der V-Werte in den unteren Horizonten ist auf basaltisches Material zurückzuführen. Allerdings handelt es sich bei den betreffenden Horizonten der LBE und des Profiles Reb-
geshain um den Einfluss des Substratwechsels.

3.4. Die freien Oxide des Fe, Al und Mn

Die Verteilung und die Menge der pedogenen Oxide, unter denen die nur im Boden befindlichen und aus seinem Ausgangsmaterial stammenden amorphen und kristallinen Fe-, Al- und Mn-Oxide verstanden werden sollen, sind von grosser Bedeutung für die Bestimmung des pedogenetischen Prozesses und des Bodentyps. Ferner können die grossen Bodengruppen durch typische Tiefenfunktionen der pedogenen Oxide unterschieden werden (SCHLICHTING & BLUME 1966-BLUME & SCHWERTMANN 1969).

3.4.1. Die freien Oxide des Eisens

Von verschiedenen Autoren (u.a. SCHÖNHALS 1959, BRUNNACKER 1965, PREUSSE 1969, MEYER & SAKR 1970) wird auf den hohen Gehalt an freien Eisenoxiden in Sauren Braunerden, insbesondere in Lockerbraunerden hingewiesen. SCHÖNHALS (1959) bezeichnet den hohen freien Eisenoxidgehalt als eines der typischen Merkmale der Lockerbraunerde und vermutete eine Beziehung im Fe_d -Gehalt und der optimalen Lockerheit dieser Böden. Dagegen scheint die Lockerheit der Lockerbraunerde nach MEYER & SAKR (1970) weniger auf den hohen Gehalten an freien Eisenoxiden (Fe_d) als

vielmehr auf der Anwesenheit von Allophanen im sauren Milieu zu beruhen.

Abgesehen von wenigen Ausnahmen liegen die Fe_d -Gehalte in den Lockerbraunerden höher als in den Sauren Braunerden (LBE überwiegend mehr als 4 %, SBE in allen Horizonten weniger als 4 % Fe_d - Tabelle 4). Besonders ausgeprägt ist dieser Unterschied bei Berücksichtigung der aus dem Decksediment hervorgegangenen Profilabschnitte der Lockerbraunerden.

Der hohe Fe_d -Gehalt in den Profilen der Lockerbraunerde ist auf die Verwitterungsprodukte des basaltischen Materials und die Bimstufbeimengung zurückzuführen. Die hohe Dithionitlöslichkeit des Eisens in den Profilen Rebgeshain und Bilstein wird wahrscheinlich im grossen Ausmass auch von den basaltischen Verwitterungsprodukten bestimmt. Neben dem hohen Fe_d -Gehalt weisen die LBE-Profile auch einen hohen Gehalt an ammoniumoxalatlöslichem Eisen auf. Nach BRUNNACKER (1965) liegt der Anteil an leichtlöslichem Eisen in den von ihm untersuchten Lockerbraunerden des Bayerischen Waldes **allgemein** höher als bei den sonstigen Subtypen der Braunerde. Die hier untersuchten Sauren Braunerden weisen jedoch Fe_o -Gehalte in Grössenordnungen der LBE auf. Da zur Bestimmung dieser Fraktion von verschiedenen Autoren verschiedene Reagenzien herangezogen werden, ist ein Vergleich schwierig.

Auf den Fe_o -Gehalt des Bodens übt die organische Substanz einen wichtigen Einfluss aus. Einerseits wirkt sich die orga-

nische Substanz in basenungesättigten Böden als pH-erniedrigend und dadurch Kristallisationshemmend aus, andererseits ist sie auch fähig, Eisenkomplexe zu bilden ; es unterbleibt daher die Bildung wasserhaltiger Eisenoxide als Vorstufe kristalliner Verbindungen. Somit wird der Kristallisationsgrad eingeschränkt (SCHWERTMANN 1964). Auch bei der Oxalatlöslichkeit des Eisens spielt die organische Substanz eine wichtige Rolle. Je nach der Extrahierbarkeit der Huminstoffe und der Stabilität der eisenorganischen Verbindungen wird das organisch gebundene Eisen extrahiert. Aber oxalatlösliches Eisen besteht nicht nur aus dem organisch gebundenen Eisen, sondern auch aus den Eisenoxiden der Bodenlösung sowie den sorbierten eisen- und wasserhaltigen Oxidgelen.

MEYER & SAKR (1970) führen die höhere Oxalatlöslichkeit des Eisens in den LBE gegenüber der in den anderen Sauren Braunerden aus Löss auf Allophane zurück, die als Träger der Eisenoxidhüllen durch die Oxalatrextraktion stark angegriffen werden, wodurch die Freilegung und Oberflächenvergrößerung der Eisenoxidträger begünstigt wird. Bei den hier untersuchten Böden wurde zwischen LBE-Profilen und SBE-Profilen im Hinblick auf die Oxalatlöslichkeit des Eisens kein Unterschied festgestellt. Die SBE-Profile weisen die gleichen Fe_0 -Gehalte auf wie die LBE-Profile, obwohl diese Böden nicht so allophanreich sind wie die LBE. Deshalb scheint hier die Rolle der Allophane überbewertet zu sein und die Erklärung trifft für SBE nicht zu. Die Oxalatlöslichkeit des Eisens wird wahrscheinlich in grossem

Ausmass von der Menge an organischer Substanz, von ihrer Zusammensetzung bzw. Löslichkeit und vom Charakter der eisenorganischen Verbindungen bestimmt.

Wie bekannt, geben Menge und Verteilung des Fe_d und Fe_o im Profil wertvolle Aufschlüsse über die pedochemischen Prozesse. Nach SCHLICHTING & BLUME (1962) charakterisieren die Gehalte des Bodens an Fe_o offenbar Verbräunung und Podsolierung, die Gehalte an Fe_d hingegen Lessivierung. Bei der Verbräunung sinken die Gehalte an Fe_d und Fe_o innerhalb des Profils von oben nach unten, dagegen liegt das Maximum des Fe_d bei der Lessivierung im B_t -Horizont und bei der Podsolierung erreicht der Gehalt an Fe_d als auch an Fe_o ein Maximum im B_s -Horizont.

Nach KOHL (1958) ist das Verhältnis Ton/Fe_d bei der Lessivierung im A_h -Horizont und B_t -Horizont etwa gleich bzw. in den B_t -Horizonten höher als in den A-Horizonten. Dagegen nehmen sie bei der Podsolierung im B_s -Horizont ab. Für eine Verschiebung der Werte Ton/Fe_d kann auch die Verlagerung durch von organischer Substanz geschützter diskreter Eisenoxidhüllen verantwortlich sein (MÜCKENHAUSEN 1952). (zit. b. PREUSSE 1969).

Auch BLUME & SCHWERTMANN (1969) fanden in einer Rendzina, Braunerde und Parabraunerde in den A-, B- und C-Horizonten das gleiche Ton/Fe_d -Verhältnis, dagegen beim Podsol im B_s -Horizont höhere Werte als im A-Horizont.

Der Fe_d -Gehalt nimmt in den Profilen Rebgeshain, Taufstein und Bilstein kontinuierlich von oben nach unten ab. Auch der Fe_o -

Pro- fil	Hori- zont	Fe _d	Fe _o	Fe _d -Fe _o	Al _d	Al _o	Mn _d	Fe _d Fe _o	Fe _d Ton	Fe _d Al _d	Fe _o C _o	Al _o Al _d	Al _d Ton	Mn _d Tonx100
Humose LBE	A _{h1}	4,73	1,93	2,80	2,27	1,42	0,07	0,40	0,13	2,08	0,3	0,62	0,06	0,21
	A _{h2}	4,85	1,94	2,91	2,60	1,68	0,12	0,40	0,13	1,86	0,5	0,64	0,07	0,33
	A _{h3}	5,17	1,95	3,23	2,68	1,74	0,14	0,37	0,12	1,92	0,5	0,64	0,06	0,34
	A _{hB}	3,75	0,83	2,92	1,37	1,12	0,10	0,22	0,10	2,73	1,0	0,81	0,03	0,28
	IIB _v	4,53	0,46	4,07	1,05	0,84	0,08	0,10	0,19	4,31	2,3	0,80	0,04	0,34
LBE Taufst.	A _h	4,69	2,38	2,31	1,04	0,77	0,05	0,50	0,14	4,50	0,2	0,74	0,03	0,16
	A _{hB}	4,27	1,78	2,49	2,12	1,60	0,14	0,41	0,13	2,01	0,8	0,75	0,06	0,42
	fA _h	3,29	1,19	2,10	2,04	1,81	0,10	0,36	0,10	1,61	0,8	0,88	0,06	0,30
	IIB _v	3,03	0,44	2,59	1,09	1,09	0,05	0,14	0,15	2,77	1,4	1,00	0,05	0,30
Typische LBE	A _h	3,98	1,34	2,64	0,92	0,53	0,02	0,33	0,11	4,32	0,1	0,57	0,02	0,06
	A _{hB}	4,37	1,57	2,80	2,16	1,59	0,03	0,35	0,13	2,02	0,5	0,73	0,06	0,11
	B _v	4,05	1,35	2,70	1,80	1,53	0,07	0,33	0,12	2,25	1,3	0,85	0,05	0,24
	IIB _{v1}	3,87	1,13	2,74	1,38	1,23	0,07	0,29	0,15	2,80	3,3	0,89	0,05	0,32
	IIB _{v2}	4,49	0,63	3,86	1,01	0,80	0,06	0,14	0,16	4,44	3,1	0,79	0,03	0,25

Tabelle 4 a. Die freien Oxide des Eisens, Aluminiums und Mangans (in %)

Pro- fil	Hori- zont	Fe _D	Fe _O	Fe _D Fe _O	Al _D	Al _O	Mn _D	Fe _D Fe _D	Fe _D Ton	Fe _D Al _D	Fe _O C _O	Al _O Al _D	Al _D Ton	Mn _D Ton x 100
Blästsch stein	A _H	3,76	1,80	1,76	0,98	0,86	0,16	0,47	0,16	3,83	0,5	0,87	0,04	0,70
	A _H B _V	3,66	1,61	2,01	1,06	0,95	0,13	0,43	0,16	3,45	0,7	0,89	0,04	0,61
	B _V	3,26	1,26	2,00	0,85	0,85	0,12	0,38	0,15	3,83	0,9	1,00	0,04	0,61
Regeshain	A _P	3,95	1,34	2,61	0,72	0,62	0,17	0,33	0,27	5,48	1,2	0,86	0,04	1,20
	B _V A _H	3,76	1,16	2,60	0,74	0,68	0,15	0,30	0,25	5,08	1,2	0,91	0,05	1,07
	A _H B _V	3,49	1,04	2,45	0,67	0,67	0,14	0,29	0,24	5,20	1,4	1,00	0,04	1,00
	IIFC _V	3,43	0,97	2,46	0,64	0,64	0,15	0,28	0,21	5,35	1,6	1,00	0,03	0,96

Tabelle 4 b. Die freien Oxide des Eisens, Aluminiums und Mangans (in%)

Gehalt wird in diesen Profilen mit zunehmender Tiefe niedriger und schliesst damit eine Verlagerung des Fe_0 aus, kennzeichnet jedoch den in dieser Richtung abnehmenden Einfluss der Bodenbildungsfaktoren und den der organischen Substanz. Dagegen stellt man in den Profilen der Humosen LBE und der Typischen LBE eine andere Tiefenfunktion des Eisens fest. Der höchste Fe_d -Wert im A_{h3} -Horizont der Humosen LBE ist wahrscheinlich substratbedingt. Da der Fe_0 -Gehalt mit der Tiefe keine Zunahme erfährt, und der Aktivitätsgrad mit der Tiefe abnimmt, ist eine Verlagerung des Eisens nicht anzunehmen. Dagegen ist eine Verlagerung des Eisens in der Typischen LBE aufgrund der Erhöhung des Fe_0 -, Fe_d -Gehaltes und des Aktivitätsgrades vom A_h - zum A_{hB_v} -Horizont nicht auszuschliessen.

Das Fe_0/Fe_d -Verhältnis sinkt mit Ausnahme des Profils der Typischen LBE in allen Profilen mit der Tiefe. Die Abnahme ist in den LBE-Profilen sogar ausgeprägter als in den SSE-Profilen. Eine Verlagerung ist nach dem Fe_d -Ton- und Fe_0/Fe_d -Verhältnis - mit Ausnahme des Profils der Typischen LBE - in keinem Profil feststellbar.

In dem Profil der Typischen LBE scheint es zu einer schwachen Verlagerung gekommen zu sein, die nur analytisch feststellbar ist.

3.4.2. Die freien Oxide des Aluminiums

Die Kennzeichnung des oxalat- und dithionitlöslichen Al hinsichtlich "amorph und kristallin" wie bei Eisenoxiden ist noch nicht möglich. Dazu fehlen noch weitere Ergebnisse. Im Gegensatz zu Fe_o und Fe_d gibt es eine ziemlich gute Korrelation zwischen Al_d und Al_o . Im Durchschnitt sind die Werte für Al_o und Al_d gleich. Deshalb sind die Tiefenfunktionen für diese beiden Al-Fractionen für die Böden der gemässigten humiden Regionen sehr ähnlich (SCHWERTMANN & BLUME 1969).

Die Gehalte an Al_d sind in den LBE etwa doppelt so hoch wie in den SBE. Das geht besonders aus den Al_d -Gehalten der aus dem Decksediment gebildeten Profilabschnitte hervor. Aufgrund des höheren Al_d -Gehaltes im Decksediment der LBE-Profile gegenüber dem des Solifluktionsschuttes und der anderen Profile wird vermutet, dass der Al-Gehalt im Decksediment stark von den Bimsbeimengungen bestimmt wird.

Alle fünf Profile weisen ihr Al_d -Maximum in Unterboden und nicht im A_h - oder A_p -Horizont auf. Somit unterscheidet sich die Al_d -Tiefenfunktion von der Fe_d -Tiefenfunktion in den untersuchten Profilen. Hinsichtlich der Tiefenfunktion muss mit einer Verlagerung des freien, d.h. nicht silikatisch gebundenen Al gerechnet werden, wobei diese Tendenz in den LBE-Profilen sehr stark ausgeprägt ist. Die gleiche Erscheinung wird auch von BLUME & SCHWERTMANN (1969) sowie SCHUYLEMBORGH (1966) beschrieben. Die Ursache in der gegenüber den Fe-Verbindungen

höheren Löslichkeit und somit höherer Mobilität der Al-Verbindungen. Böden mit saurer Reaktion, Auflagehorizonten und morphologischen Merkmalen einer Podsolierung, jedoch mit chemisch nachweisbaren Anreicherungshorizonten, werden von DE LEENHEER als "Krypto-Podsole" (crypto = verborgen) bezeichnet (PLAISANCE & CAILLEUX 1958). Nach FIEDLER & LENTSCHIG (1967) ist die Al-Verlagerung ein Unterscheidungsmerkmal zwischen Sauren Braunerden und Typischen Braunerden sowie podsoligen Böden. In Typischen Braunerden sind Fe- und Al-Verbindungen festgelegt, in Sauren Braunerden ist dagegen Al im Profil verlagert. In podsoligen Braunerden, Braunerde-Podsolen und Podsolen wandert zusätzlich Fe.

Eine Differenzierung der beiden Gruppen (LBE und SBE) ist auch durch das oxalatlösliche Al aufgrund der höheren Gehalte in den LBE möglich. Die Tiefenfunktion des Al_o entspricht der des Al_d .

Al_o/Al_d liegt in den LBE niedriger als in den SBE. In beiden Profilgruppen ist die Al_o/Al_d -Korrelation hoch signifikant (LBE: $r=0,9121$; SBE: $r=0,9483$). In allen Profilen nimmt das Verhältnis mit der Tiefe zu. Die höheren Al_o/Al_d -Werte haben die Profile bzw. Horizonte, deren Ausgangssubstrat Basalt bzw. Basalt-solifluktuationsmaterial ist.

Die unterschiedliche Al-Löslichkeit kann von folgenden Eigenschaften abhängen:

- a) von der Löslichkeit der Allophane; die Löslichkeit der Allophane nimmt mit dem pH-Anstieg zu.

- b) sie kann mineralogisch bedingt sein; in SBE können die Tonminerale so stark angewittert sein, dass sie schon bei pH 3 zerfallen.
- c) von Al-haltigen, kristallinen Fe-Oxiden (NORRISH & TAYLOR 1961) in LBE-Profilen kann ein höherer Al-Anteil in Fe-Verbindungen (kristallin) eingeschlossen sein (Bildung von Al-haltigen, kristallinen Fe-Oxiden, z.B. Goethit), und erst nach der Lösung des Goethit wird Al freigesetzt.
- d) die Huminstoffüberzüge (Huminsäuren) von Al-Humus bzw. Humus-Al - Ton-Komplexen können bei der Oxalatextraktion nicht peptisiert werden und sie fungieren daher als Schutzhüllen. Dagegen werden sie in der Dithionit-Lösung (höhere OH-Konzentration als Oxalatlösung) zum Teil peptisiert.

3.4.3. Mangan

Mn_d und Mn_o korrelieren hoch. Somit gibt das Mn_d/Mn_o -Verhältnis keine qualitative Information über die pedochemischen Prozesse des Bodens (SCHWERTMANN & BLUME 1969).

Im Gegensatz zu den Eisen-Aluminium-Gehalten weisen die LBE niedrigere Mn_d -Gehalte auf als die SBE. In den letztgenannten Profilen nimmt der Mn_d -Gehalt mit zunehmender Tiefe ab. Die Abweichung von dieser Tiefenfunktion im IIfC_v-Horizont des Profiles Rebgeshain dürfte lithogen bedingt sein. In den Profilen Humose LBE und Taufstein ist die Verteilung des Mn_d die gleiche wie die des Al_d . Im Profil der Typischen LBE liegt das Mn-Maximum unter dem Al_d - und Fe_d -Maximum.

4. DIE ORGANISCHE SUBSTANZ

4.1. Der Gesamtgehalt an organischer Substanz (C_{t1})

Durch ständigen Abbau und Neubildung erweist sich der Humus des Bodens als ein dynamisches System. Die Bildungsprozesse der Humusstoffe sind das Ergebnis der Gesamtwirkung verschiedenster Faktoren. Die mannigfaltige Kombination und Wechselwirkung von Vegetationsdecke, Klima, Boden, Tätigkeit der Mikroorganismen und Tiere, Relief sowie der Eingriff des Menschen charakterisieren die Huminstoffe des Bodens in qualitativer und quantitativer Hinsicht: ihre Verteilung im Profil, ihre Eigenschaften und die Art ihrer Bindung mit den anorganischen Bodenkonstituenten. Obwohl für eine gewisse Humusbildung nicht ein einzelner Faktor, sondern das Zusammenwirken der oben genannten Faktoren massgebend ist, tritt doch bei einer Reihe von Humusbildungsprozessen die Wirkung einzelner, ganz bestimmter Faktoren in den Vordergrund.

Jeder Boden besitzt ein begrenztes Anreicherungsvermögen an Humus. Nach Erreichung dieser Grenze besteht bei gleicher Vegetation und bestimmten Standortfaktoren ein Gleichgewicht zwischen Anreicherung und Abbau, so dass sich ein charakteristischer Humusgehalt einstellt (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1970).

Nach KOSTYTSCHOW (zit. b. KONONOVA 1958) hängt der Humusvorrat im Boden nicht nur von der Menge der neugebildeten Huminstoffe ab, sondern auch von der Zersetzung organischer Primärstoffe.

Durch die Korrelation der Intensität der Zersetzungs- und Neubildungsprozesse wird der Humusvorrat im Boden bestimmt.

$$\begin{aligned} \text{Humusvorrat} = & \text{Humus (ursprünglicher Vorrat)} + \\ & + \text{Humus (neugebildeter)} - \\ & - \text{Humus (zersetzbar)} \end{aligned}$$

Nach TYURIN (1937, zit. b. KONONOVA 1958) wird die Humusanreicherung im Boden von der Höhe der jährlichen Zunahme an organischen Resten, ihres Zersetzungskoeffizienten und dem Koeffizienten des Humusabbaus bestimmt.

Die Gesamtgehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff der untersuchten Böden sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Humose LBE	Tauf- stein (LBE)	Typische LBE	SBE Bil- stein	SBE-Reb- geshain
O _{FH} 29,66	O _{FH} 34,50	O _{FH} 34,50	O _{FH} 9,40	A _p 3,70
A _{h1} 9,00	A _h 12,25	A _h 14,75	A _h 7,80	B _v A _h 2,20
A _{h2} 7,40	A _h B _{v1} 5,25	A _h B _v 5,80	A _h B _v 3,60	A _h B _v 1,80
A _{h3} 7,00	A _h B _{v2} 4,80	B _v 3,05	B _v 2,51	IIfC _v 1,85
A _h B _v 2,00	fA _h 3,40	IIB _{v1} 1,41		
IIB _v 0,73	IIB _v 1,05	IIB _{v2} 0,90		

Tabelle 5. Die Gesamtgehalte an Kohlenstoff (in %)

Ob das Gleichgewicht in den untersuchten Profilen erreicht worden ist, lässt sich aus dem Kohlenstoffgehalt nicht ableiten. Hierzu ist eine genaue Kenntnis der jährlichen Zufuhr an organischer Substanz aus den oberirdischen Teilen der Pflanzen und den Wurzeln der Vegetationsdecke sowie ein Beobachtungszeitraum von vielen Jahren erforderlich.

Der Gesamt-C-Gehalt in den untersuchten Profilen nimmt in der Reihenfolge Rebgeshain, Bilstein, LBE zu. Wie zu erwarten war, haben die Profile unter Wald einen höheren Gesamt-C-Gehalt als das Ackerprofil.

Da alle Böden praktisch den gleichen Klimabedingungen unterworfen sind, ist deren Einfluss auf den C-Gehalt nicht entscheidend. Dagegen ist die Vegetation als wichtiger Faktor anzuführen. Unter Wald werden dem Boden mehr Pflanzenrückstände zugeführt als unter Acker. Sie werden im Profil Rebgeshain, wo die Intensität des Abbaus durch die Bodenbearbeitung und die Aktivität des Edaphons erheblich erhöht wird, stark abgebaut, während in den Waldprofilen infolge des niedrigen pH-Werts für das Edaphon ungünstige Bedingungen herrschen und daher eine Anreicherung erfolgt.

Bei den Waldböden unterscheidet sich das Profil Bilstein durch einen niedrigeren C-Gehalt und durch die Humusform von den Profilen der Lockerbraunerden. Da das Profil Taufstein wie das Profil Bilstein in Buchenbestand liegt, ist der unterschiedliche C-Gehalt zwischen Lockerbraunerden und Sauren Braunerden (Bilstein) sehr wahrscheinlich auf die unterschiedlichen physiko-chemischen Eigenschaften (z.B. Allophan- und Sesquioxidgehalt, Basengehalt)

der Böden zurückzuführen und nicht auf die Vegetation. Neben den oben genannten Faktoren spielen auch die Lage (Hangrichtung und Hangneigung) eine wichtige Rolle. So liegt das Profil Bilstein an einem stark geneigten SO-Hang, so dass das Niederschlagswasser zum grössten Teil abfliesst und im kluftigen Basaltschutt versickert. Die Mineralisierung der organischen Stoffe wird daher begünstigt.

Die LBE-Profile weisen auch unter sich unterschiedliche C-Gehalte auf. Aus den qualitativen Untersuchungen der Huminstoffe geht hervor, dass bei der Humusbildung dieser Böden die quartärgeologischen Vorgänge und die Vegetationsgeschichte eine entscheidende Rolle gespielt haben, worauf später noch näher eingegangen wird. Aber da sich der Humus der Auflagehorizonte unter der heutigen Vegetation und den gegenwärtigen Umweltfaktoren bildet, sei noch folgendes festgestellt:

Ein Einfluss der Vegetation auf die Unterschiede der Humusmengen ist nicht feststellbar. Da sich alle Böden im gleichen Grossklima befinden und die Vegetation bei der unterschiedlichen quantitativen Humusbildung als nicht bestimmender Faktor auftritt, müssen die geringen Unterschiede im Gesamt-C-Gehalt der Auflagehorizonte auf das Standortklima und auf den Einfluss der Mineralböden durch ihre physiko-chemischen Eigenschaften zurückgeführt werden.

Mit Ausnahme von Profil Rebgeshain sinkt der Gesamt-C-Gehalt in allen übrigen Profilen mit der Tiefe. Die Abweichung von

dieser Tiefenfunktion im $IIfC_V$ -Horizont des Profiles Rebges-
hain ist durch die Zweischichtigkeit des Bodens verursacht.
Somit ist aufgrund der Tiefenfunktion der Gesamt-C-Gehalte
in keinem Profil eine Verlagerung von Humusstoffen festzu-
stellen. Die starke Abnahme des C-Gehaltes in den LBE-Profilen
weist auf eine schwache biologisch-mechanische Vermischung
der organischen Substanz mit dem mineralischen Substrat hin.
Die Huminstoffe im Unterboden sind auf Infiltration zurück-
zuführen.

4.2. Die Fraktionierung der organischen Substanz

Zür Erforschung des dynamischen Systems " organische Substanz
des Bodens" genügt die Kenntnis des prozentualen Anteils der
gesamtoorganischen Substanz allein nicht. Man ist vielmehr be-
strebt, über die Zusammensetzung der organischen Bodenfrak-
tionen Aufschluss zu erhalten, um die Einzelvorgänge der Bildung
und damit ihre Wirkung im Boden zu erfassen. Die organische
Substanz, deren Zusammensetzung noch nicht bekannt ist, wird
vorläufig aufgrund ihrer Farbe und Löslichkeit in Laugen und
Säuren eingeteilt. Quantitativ sind die verschiedenen organi-
schen Stoffe nur über eine Fraktionierung ihrer Extrakte zu
bestimmen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Zusammen-
setzung der verschiedenen Fraktionen einer Bodenprobe in be-
trächtlichem Ausmass von den angewandten Methoden abhängt,

und die chemische Zusammensetzung der Fraktionen aus verschiedenen Böden unterschiedlich ist, wenn sie auch mittels einer Standardmethode isoliert werden. Die Namen Fulvosäuren, Huminsäuren und Humine sind daher nur Bezeichnungen für Fraktionen und Substanzen, die mit konventionellen Methoden isoliert und getrennt werden.

4.2.1. Die Nichthuminstoffe

Die heterogen zusammengesetzte organische Substanz des Bodens kann rein begrifflich in zwei Stoffgruppen unterteilt werden: In die abgestorbenen organischen Primärstoffe, die als Nichthuminstoffe bezeichnet werden, und in die meist dunkel gefärbten, aus hochpolymeren organischen Verbindungen bestehenden Huminstoffe. Eine exakte Abgrenzung beider Stoffgruppen ist nicht möglich. Je nach dem Grad der Umwandlung stehen sie in ihren Eigenschaften entweder den Ausgangsstoffen noch mehr oder weniger nahe oder sie haben bereits viele Eigenschaften mit den Huminstoffen gemeinsam.

Die Trennung der Humin- und Nichthuminstoffe ist nach KARRER mittels Acethylbromid oder nach SPRINGER (1954) mittels einer Sulfacetolyse möglich. Diese Reagenzien lösen aber nicht nur Streustoffe, sondern zum Teil auch niedermolekulare Huminstoffe (zit. b. SCHLICHTING & BLUME 1966). Auch SCHEFFER & ULRICH (1960) scheint mit diesen Methoden keine exakte stoffliche Trennung

der organischen Substanz in die oben genannten Stoffgruppen gelungen zu sein.

Zu den Nichthuminstoffen gehören Proteine und andere N-Verbindungen, Kohlenhydrate, Lignin, organische Säuren, Fette, Öle und Wachse, Aldehyde, Ketone, Alkohole, Harze und Gerbstoffe (FIEDLER & REISIG 1964). Der Anteil der Nichthuminstoffe an der gesamten organischen Substanz unterliegt sehr grossen Schwankungen. Von der gesamten organischen Substanz sollen nach KONONOVA (1966) etwa 10-15 %, nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1970) bis zu mehr als 30 % in Form von Nichthuminstoffen vorliegen.

Da die Nichthuminstoffe wie die Huminstoffe mit Säuren und Alkalien extrahierbar sind, bereiten sie bei der Fraktionierung der Huminstoffe grosse Schwierigkeiten. Die Nichthuminstoffe sollen oft mehr als das Hundertfache der Fulvosäurenfraktion und mehr als das Zehnfache der Huminsäurenfraktion ausmachen.

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, vor der Fraktionierung der Huminstoffe die Nichthuminstoffe mittels Wasser- und Benzol-Äthanol-Extraktionen abzutrennen.

Fraktion 01 (Wasserextrakt 20° C)

Eine Extraktion mit kaltem Wasser erweist sich als zweckmässig, um das Verhalten von organischen Stoffen in ihrer natürlichen Umwelt beurteilen zu können. Die Gewinnung dieser

Stoffe erfolgt nämlich unter Bedingungen, die die Gefahr einer chemischen Veränderung weitgehend ausschliessen. Mit diesem Verfahren ist nur ein verhältnismässig geringer Anteil der organischen Stoffe extrahierbar. Wegen der hohen Mobilität sind diese Stoffe aber für Transformations- und Translokationsprozesse von grosser Bedeutung.

Die Gehalte an wasserlöslichen organischen Stoffen, ausgedrückt durch den Kohlenstoffgehalt, liegen in den O- und A_h -Horizonten der LBE höher als in den O-, A_h - und A_p -Horizonten der SBE-Profile, während die Gehalte in den unteren Horizonten keine nennenswerte Differenz gegenüber den SBE-Profilen aufweisen (Tabelle 6). Der höhere Anteil an wasserlöslichen organischen Verbindungen in den LBE-Profilen beruht auf der eingeschränkten mikrobiellen Aktivität. Die SBE-Profile weisen ebenso wie im Vergleich mit den LBE-Profilen auch untereinander in den A_h - und A_p -Horizonten in der Quantität der wasserlöslichen organischen Verbindungen Unterschiede auf. Der im Gegensatz zum A_h -Horizont niedrigere Gehalt ist auf die intensive Mineralisierung zurückzuführen, hervorgerufen durch Bearbeitung, Düngung, höheren pH-Wert und der dadurch regeren mikrobiellen Aktivität.

Mit Ausnahme des Profils Taufstein nehmen die absoluten Gehalte in allen Profilen mit der Tiefe ab; dies ist in den Lockerbraunerden ausgeprägter als in den Sauren Braunerden. Der untere Teil des $A_h B_v$ -Horizontes des Profils Taufstein zeigt eine Zunahme, vergleichbar damit ist die Tiefenfunktion

Profil	Horizont	absolut mg C/ 100 mg Boden	relativ in % des C _{t1}
Humose LBE	0 *)	0,2120	0,71
	A _{h1}	0,0600	0,66
	A _{h2}	0,0400	0,54
	A _{h3}	0,0270	0,38
	A _{hB_v}	0,0070	0,35
	IIB _v	0,0030	0,41
LBE Tauf- stein	0	0,1382	0,40
	A _h	0,0518	0,42
	A _{hB_{v1}}	0,0095	0,18
	A _{hB_{v2}}	0,0161	0,33
	fA _h	0,0051	0,15
	IIB _v	0,0034	0,32
Typische LBE	0	0,1140	0,33
	A _h	0,0556	0,37
	A _{hB_v}	0,0102	0,17
	B _v	0,0063	0,20
	IIB _{v1}	0,0045	0,31
	IIB _{v2}	0,0024	0,26
Bilstein	0	0,0517	0,55
	A _h	0,0434	0,55
	A _{hB_v}	0,0232	0,64
	B _v	0,0086	0,34
Rebges- hain	A _p	0,0136	0,36
	B _v A _h	0,0124	0,56
	A _{hB_v}	0,0112	0,62
	IIfC _v	0,0060	0,32

Tabelle 6. C-Gehalte an wasserlöslichen organischen
Stoffen

*) In dieser und in den folgenden Tabellen wird anstatt "0_{FH}"
nur noch "0" geschrieben.

des pH-Werts; dies lässt den Schluss zu, dass es sich bei den wasserlöslichen organischen Stoffen grösstenteils um solche ohne Säurecharakter, z.B. Kohlenhydrate handelt (Tabelle 1). Auch nach KICKUTH und Mitarb. (1969) werden locker gebundene organische Substanzen, z.B. freie Aminosäuren, freie Zucker, freie organische Säuren u.ä. mit Wasser gelöst.

KAURICHEW und Mitarb. (1963) trennten aus dem wasserlöslichen Extrakt die niedermolekularen organischen Säuren ab. Es liessen sich qualitativ flüchtige (Ameisensäure) und nicht flüchtige Säuren (hauptsächlich Oxalsäure sowie Zitronen-, Fumar- und Glykolsäure) unterscheiden. Der Anteil der niedermolekularen organischen Säuren an der wasserlöslichen organischen Substanz der untersuchten Böden betrug 3-6 %.

Nach ZIECHMANN (1964) haben die wasserlöslichen Stoffe aus einem Podsol folgende chemische Eigenschaften: reich an phenolischen OH-Gruppen, hohe Anteile an aktivem Wasserstoff, geringer Gehalt an Stickstoff in Form von NH_2 -Gruppen und an Methoxylgruppen.

Die relativen Werte (in % des Gesamt-C) liegen in den Mineralbodenhorizonten der LBE-Profile niedriger als in den SBE-Profilen.

BERNAT (1962) führt die quantitativen Unterschiede an wasserlöslichen organischen Stoffen auf den Entwicklungszustand des Bodens, die Aktivität der Mikroorganismen und das Ausmass der Auswaschung zurück. Theoretisch müsste in SBE-Profilen der An-

teil dieser Stoffe wegen der intensiveren Mineralisierung geringer sein als in den LBE-Profilen. Die niedrigeren Prozentzahlen in den LBE-Profilen werden auf folgende Ursachen zurückgeführt:

- a) Die wasserlöslichen organischen Stoffe in den LBE-Profilen werden von den mineralischen Komponenten stärker immobilisiert und somit in wasserunlösliche Formen transformiert. Als Stabilisatoren werden Sesquioxide, Tonminerale, insbesondere Allophane bzw. allophanähnliche amorphe Substanzen angesehen.
- b) Die biologisch-mechanische Vermischung der organischen Substanzen mit dem mineralischen Substrat ist in LBE-Profilen schwächer als in SBE-Profilen.
- c) Die niedrigeren Gesamt-C-Gehalte der SBE-Profile gegenüber denen der LBE-Profile können zu einer relativen Erhöhung von wasserlöslichen organischen Stoffen in den erstgenannten Profilen führen.
- d) Es muss die unterschiedliche Durchwurzelung berücksichtigt werden, denn die Wurzelmasse beeinflusst die Ausscheidungen und zersetzbaren Stoffe.

Hinsichtlich der relativen Anteile wasserlöslicher organischer Substanzen an der Gesamtheit der organischen Substanz ist folgender Trend festzustellen (Tabelle 6): Während in den LBE-Profilen die Werte im oberen Profilabschnitt abnehmen, im unteren jedoch zunehmen, weisen die SBE-Profile eine entgegengesetzte Tendenz auf. Die höheren relativen Gehalte in den B-Horizonten der SBE-Profile dürften auf Verlagerungsvorgänge

und auf die im Oberboden stärkere Oxydation und Polymerisation zurückzuführen sein sowie auf die zum Teil höheren Relativwerte der A_h -Horizonte gegenüber den O-Horizonten.

Nach ZIECHMANN (1964) bilden die Huminstoffe der einzelnen Horizonte ein System im stationären Zustand mit charakteristischer Massenverteilungsfunktion. Der Abfluss der äusserst geringen Mengen an wasserlöslichen organischen Substanzen bedingt ihre Neubildung und der Zufluss die Bildung höhermolekularer Huminstoffe. Diese Feststellung konnte bei den hier untersuchten Böden nicht bestätigt werden. In den Horizonten, in denen relativ hohe Anteile höhermolekularer Huminstoffe vorhanden sind, ist keine Anreicherung festzustellen. Solche Horizonte weisen niedrige Gehalte an wasserlöslichen organischen Stoffen auf. Allerdings berichten ZIECHMANN & PAWELKE (1959), dass manche niedermolekulare organische Verbindungen eine Abschwächung des Humifizierungsprozesses bzw. der Polymerisation der Huminstoffe bewirken.

EVSEVA und Mitarb. (1968) wiesen in allen durch Cephadex getrennten wasserlöslichen organischen Substanzen an diese gebundenes Aluminium nach und ZIECHMANN (1964) fand neben Al auch Fe im Wasserextrakt. BRUCKER (1966) erhielt in H_2O -Extrakten der tieferen Horizonte podsoliger Böden relativ hohe Anteile an Zitronensäure, Oxalsäure und Vanillensäure, ausserdem konnten Fe und Al nachgewiesen werden, während diese in lessivierten Böden mit der Tiefe stark abnehmen. Aus diesem Ergebnis schliesst

der Autor, dass Eisen und Aluminium als organo-mineralische Verbindungen gewandert sind. In den Wasserextrakten der LBE-Profile (Boden : Wasser 1 : 25) konnte weder Eisen noch Aluminium nachgewiesen werden.

Fraktion 02 (Benzol-Äthanol-Extraktion)

Die Extraktion wurde durchgeführt, um den störenden Einfluss der Fette, Wachse, Harze u.ä. bei der nachfolgenden Huminstoffextraktion auszuschliessen. Auf die Bestimmung der mit Benzol-Äthanol extrahierten Stoffe wurde verzichtet. Auch nach KONONOVA & BELCHIKOVA (1961) kann auf diese Extraktion verzichtet werden, da der Extrakt ein weites unspezifisches Stoffgruppenspektrum darstellt.

4.2.2. Huminstoffe

Die aus hochpolymeren organischen Verbindungen bestehenden Huminstoffe werden auf biologischem oder abiologischem Wege aus den einfachen Verbindungen (Monosaccharide, Peptide, Aminosäuren und phenolische Verbindungen) gebildet. Während der Humifizierung gehen die einfachen Verbindungen in hochpolymere Verbindungen über.

Die Huminstoffe des Bodens können nach ihrer Löslichkeit

in den verschiedenen Lösungsmitteln in die drei Gruppen der Fulvosäuren, Huminsäuren und Humine unterteilt werden. Die chemische Zusammensetzung dieser Gruppen hängt von klimatischen Faktoren, von der Art der Ausgangsstoffe und von den anorganischen Bestandteilen ab.

Obwohl für die einzelnen Gruppen der Huminstoffe keine chemischen Formeln angegeben werden können, besteht in ihrem Aufbau kein prinzipieller Unterschied. Sie bestehen aus Kern, Brücke und reaktiver Gruppe. Die chemischen und kolloid-chemischen Eigenschaften der Huminstoffe sind an die funktionellen Gruppen gebunden (SCHEFFER - ULRICH 1960, KASATOCHKIN und Mitarb. 1964, KONONOVA 1966). Die Säureeigenschaften werden auf stark saure Gruppen (Carboxylgruppen) und auf schwach saure Gruppen (phenolische Hydroxylgruppen) zurückgeführt (FLAIG 1969). Die Trennung der Huminstoffe in Fulvo- und Huminsäuren erfolgt aufgrund ihres unterschiedlichen Koagulationsverhaltens bei Zusatz starker Säuren. Der Anteil, der sich beim Ansäuern als Niederschlag absetzt, wird unter dem Namen Huminsäuren und der nicht koagulierbare Anteil als Fulvosäuren bezeichnet. Bei Fulvo- und Huminsäuren handelt es sich nicht um zwei strukturell unterschiedliche Gruppen, vielmehr bilden beide eine polymerhomologe Reihe. Die Fulvosäuren sind innerhalb dieser Reihe die Vorstufen der Huminsäuren bzw. die Endglieder der Huminsäurezersetzung. Durch weitere Polymerisation und Kondensation können aus den Fulvosäuren die Huminsäuren entstehen (WELTE 1962, FREYTAG 1961, FIEDLER & REISIG 1964, MARTIN-MARTINEZ 1967).

Die Huminstoffe, die aus den carbonatfreien Böden mit alkalischen Lösungsmitteln nicht extrahierbar sind, werden als Humine bezeichnet. In den meisten Böden ist diese Gruppe vorwiegend durch Huminsäuren vertreten, deren Unlöslichkeit in Laugen auf die feste Bindung an die Mineralsubstanz zurückzuführen ist. In einigen Böden bestehen sie z.T. aus nicht vollständig humifizierten Pflanzenresten (KONONOVA 1958).

DUBACH und Mitarb. (1963) sind der Ansicht, dass die Humine strukturell den extrahierbaren Huminstoffen verwandt sind und NAJMR (1962) betrachtet Humine als ältestes Entwicklungsglied des Humus. Auch nach ARSHAD & LOWE (1966) sollen die mit den üblichen Mitteln nicht extrahierbaren Huminsäuren wahrscheinlich stark humifiziert sein.

Mittels Wasser- und Benzol-Äthanol-Extraktion wurden die Nicht-huminstoffe einschliesslich des Bestandsabfalles weitestgehend entfernt, so dass der C_{t2} -Gehalt näherungsweise dem der Huminstoffe entspricht. Die im Folgenden angeführten Relativgehalte beziehen sich somit auf den C_{t2} -Gehalt.

4.2.2.1. Die extrahierbaren Huminstoffe

Die gesamtextrahierbaren Huminstoffe unterliegen in den untersuchten Böden erwartungsgemäss grossen Schwankungen. Die Schwankungsbreite ist in den LBE-Profilen grösser als in den SBE-Profilen, was vor allem durch die grosse Extraktionsrate in den O-Horizonten bedingt ist. Aber auch im Bereich der A_h -Horizonte weisen die LBE-Profile höhere Werte als die SBE-Profile

auf. Im Bereich der Unterböden, d.h. der untersten Mineralbodenhorizonte ist die Schwankungsbreite jedoch gering (Tab. 7, Abb. 3).

Entsprechend obiger Feststellung nehmen vor allem in den LBE-Profilen die extrahierbaren Huminstoffe in den oberen Profilabschnitten mit der Tiefe sehr stark ab; die Extraktionsrate der obersten Mineralbodenhorizonte (jeweilige O-Horizonte = 100) liegt in den LBE-Profilen um 40, bei dem SBE-Profil um 83.

Bezogen auf den Gesamt-C-Gehalt (C_{t2}) werden durch die aufeinanderfolgenden Extraktionen zwischen 50 und 80 % erfasst. Das Minimum der relativen Extraktion liegt in den LBE-Profilen jeweils in den O-Horizonten; diese Aussage trifft auch für das SBE-Profil Bilstein zu. Die Maximalwerte treten überwiegend im Bereich der unteren Profilabschnitte auf. Innerhalb der Mineralbodenhorizonte weist die Humose LBE mit Werten zwischen 75 und knapp 79 % die höchsten Extraktionsraten auf. Diese sind bei den übrigen Profilen nicht nur geringer, sie unterliegen auch grossen Schwankungen (Abb. 4, Tab. 8).

Die Tiefenfunktion der relativen Extraktionswerte lässt auf eine Verlagerung mobiler Huminstoffe schliessen. Daneben muss aber in den oberen Horizonten mit einem hohen Anteil nicht humifizierter organischer Substanzen (unvollkommene Abtrennung von Bestandesabfällen und Wurzeln) gerechnet werden.

Hervorzuheben ist die für saure Bodenbildungen typische Dominanz der Fulvosäuren (FS); Ausnahmen bilden nur die Auflagehorizonte der LBE mit geringer Huminsäuredominanz. Die Fulvo-

säuregehalte nehmen in den Lockerbraunerden verhältnismässig einheitlich mit der Tiefe ab, abgesehen von der Humosen LBE, in der die Abnahme in den Mineralbodenhorizonten nur sehr schwach ausgeprägt ist. Geringere Fulvosäuregehalte weisen die SBE-Profile bei nur geringfügiger Abnahme mit der Tiefe im Profil Rebgeshain auf. Auch die Tiefenfunktion der Huminsäurenfraktion ist, abgesehen von wenigen Ausnahmen, sehr einheitlich. Die Ausnahmen betreffen wiederum die Humose LBE mit annähernd gleichen Huminsäuregehalten in den oberen Mineralbodenhorizonten. Ferner ist der fA_h -Horizont des LBE-Profiles Taufstein durch einen gegenüber den begrenzenden Horizonten höheren HuminsäurenC-Gehalt gekennzeichnet. Die Huminsäure-/Fulvosäureverhältnisse (HS/FS) sind entsprechend der Verteilung der Fraktionen nur in den O-Horizonten der LBE-Profile grösser als 1. Sie nehmen nur in den Profilen Bilstein und Typische LBE mit der Tiefe mehr oder weniger gleichmässig ab. Hervorgerufen durch die geringfügige Zunahme der HS-Gehalte bei starker Abnahme der FS-Gehalte in dem fA_h -Horizont des LBE-Profiles Taufstein und dem $IIfC_v$ -Horizont des SBE-Profiles Rebgeshain bzw. der im Verhältnis zu den Huminsäuren starker Abnahme der Fulvosäuren in dem A_{h3} -Horizont der Humosen LBE nehmen die HS/FS-Verhältnisse in diesen Horizonten im Vergleich zu den benachbarten Horizonten zu. Eine Verlagerung mobiler Huminstoffe ist neben der Tiefenfunktion der relativen Extraktionswerte der Gesamthuminstoffe auch aus den relativen Gehalten der Fulvosäurenfraktion ersichtlich (Zunahme mit der Tiefe). Einschränkend ist jedoch zu berücksich-

tigen, dass diese zum Teil auch auf eine restriktive Polymerisation in situ zurückgeführt werden kann.

Die ausgeprägte Zunahme der relativen C-Gehalte von den O-Horizonten zu den A_h-Horizonten der LBE beruht allein auf der Zunahme der relativen Fulvosäuren-C-Gehalte, während die relativen Huminsäuren-C-Gehalte abnehmen. Dies ist jedoch geringer auch im SBE-Profil Bilstein nachzuweisen.

In den Mineralbodenhorizonten ist die Tiefenfunktion oben genannter Werte nicht einheitlich. Während in der Typischen LBE und in der SBE Bilstein die relativen Fulvosäuren-C-Gehalte mit der Tiefe zunehmen, nehmen die der Huminsäuren ab. Diese Tendenz ist in den Profilen Taufstein (LBE) und Rebgeshain (SBE) nur in den oberen Profilabschnitten nachzuweisen. Hingewiesen sei noch auf den unteren Teil des Profiles Taufstein, in dem die Tendenz des oberen Abschnitts wieder festzustellen ist. Die gleiche Tendenz tritt auch in dem unteren Abschnitt der Humosen LBE auf.

Weitere Anhaltspunkte für die Huminstoffzusammensetzung bzw. für die Bindungsart ergeben die Werte der Einzelseparationen.

Fraktion 1 (F₁-Fulvosäuren) (0,5 n H₂SO₄-Extraktion):

Diese Fraktion wird als "freie Fulvosäuren" bezeichnet und besteht nach TYURIN aus freien Fulvosäuren und deren komplexen Verbindungen mit den mobilen Hydraten der Sesquioxide. Infolge

saure Hydrolyse können bei der Säureextraktion auch Nicht-huminstoffe freigesetzt werden (DORMAAR 1964, YAMQUE und Mitarb. 1967, PREUSSE 1969, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1970).

Die absoluten Gehalte an freien Fulvosäuren (mg C/ 100 mg Boden) schwanken in den LBE-Profilen zwischen 0,2280 und 1,8620, im Profil Rebgehsian zwischen 0,2720 und 0,3820 und im Profil Bilstein zwischen 0,5200 und 1,000. Den LBE-Profilen gemeinsam ist die ausgeprägte Zunahme leichtbeweglicher Fulvosäuren vom O-Horizont zu den Mineralbodenhorizonten. Während sich diese Zunahme in den Profilen "Humose LBE" und "Taufstein" nur bis in den ersten A_h -Horizont erstreckt, erfolgt diese im Profil der Typischen LBE bis in den $A_h B_V$ -Horizont. Diese Tiefenfunktion lässt auf die Einwaschung mobiler, niederpolymerer Huminstoffe aus den Auflagehorizonten in die Mineralbodenhorizonte schliessen. Die Immobilisierung resultiert aus der Zunahme fällungsaktiver Kationen (Fe und Al) bzw. adsorptionsaktiver Oberflächen. Die Anreicherung wird durch die gehemmte Mikroorganismen-tätigkeit gefördert. Mit der Tiefe nehmen die FS-Gehalte stark ab. Die prozentualen Anteile der freien Fulvosäuren betragen:

in LBE-Profilen	Profil Bilstein	Pr. Rebgehsian	
1,7-38,9	11,0-27,8	11,2-21,3	des Gesamt-C
11,8-38,9 (o.A.) ¹	13,5-27,8 (o.A.)	.	(C _{t2})
3,0-53,0	17,0-38,5	17,8-31,1	des gesamt-
19,2-53,0 (o.A.)	20,7-38,5 (o.A.)		extrahier-
			baren C
6,8-59,9	28,3-52,8	27,5-39,7	des Gesamt-
27,5-59,9	32,6-52,8		FS-C-Gehalts

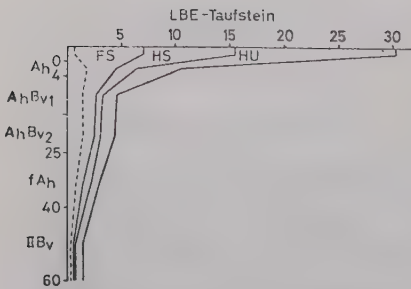
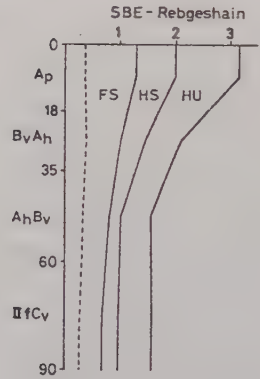
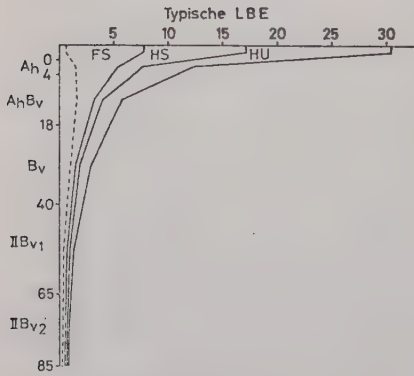
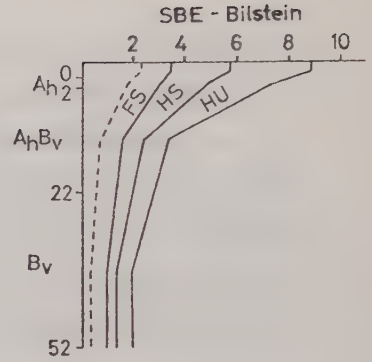
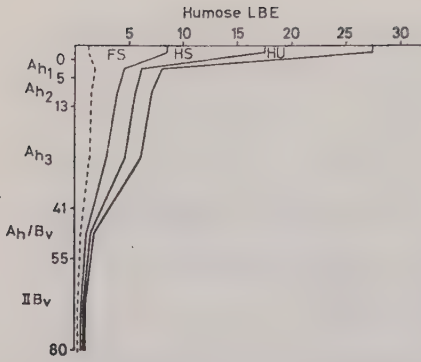
1) o.A. : Ohne Auflage

Somit nehmen die prozentualen Anteile der freien Fulvosäuren in der Reihenfolge LBE, Bilstein, Rebgeshain ab. Abgesehen von einigen wenig ausgeprägten Schwankungen steigt der Prozentgehalt im allgemeinen mit der Profiltiefe an. Der Anstieg kann auf die Verlagerung mit dem Sickerwasser, die gehemmte Mikroorganismen-tätigkeit in den unteren Horizonten und mangelnde Kondensations- und Polymerisationsneigung zurückgeführt werden.

Fraktion 2 (H_2 -Huminsäuren, F_2 -Fulvosäuren) (0,1 n NaOH-Extraktion)

Diese Fraktion stellt freie Huminstoffe (Fulvo- und Huminsäuren), an mobile hydratisierte Sesquioxide gebundene Huminstoffe und an Huminsäuren gebundene Fulvosäuren dar. Von der Gesamtheit der durch die aufeinanderfolgenden Extraktionen erfassten Huminstoffe wird der überwiegende Teil bereits im Zuge der NaOH-Extraktion ohne Säurevorbehandlung gelöst. Bezogen auf den Gesamt-C-Gehalt (C_{t2}) schwankt die Extraktionsrate dieser Fraktion zwischen 40 und knapp 70 %. Auffallend gering sind die Werte des SBE-Profiles Rebgeshain (42-48 %). Nur unwesentlich höher sind die entsprechenden Werte der Typischen LBE. Maximalwerte weist dagegen die Humose LBE auf. (Tabelle 8).

Eindeutigere Aussagen lassen sich jedoch aus der Gegenüberstellung der auf die gesamtextrahierbaren Huminstoffe bezogenen Werte der Einzelfraktionen (C-Gehalt der Einzelfraktionen in % des C-Gehalts der extrahierbaren Huminstoffe, Tab.9) treffen. Der Anteil dieser Huminstofffraktion beläuft sich im Bereich der Mineralbodenhorizonte in der Humosen LBE und in der LBE Taufstein



----- freie Fulvosäuren (F_1)

Abb. 3: Die Huminstofffraktionen (mg C/100mg Feinboden)

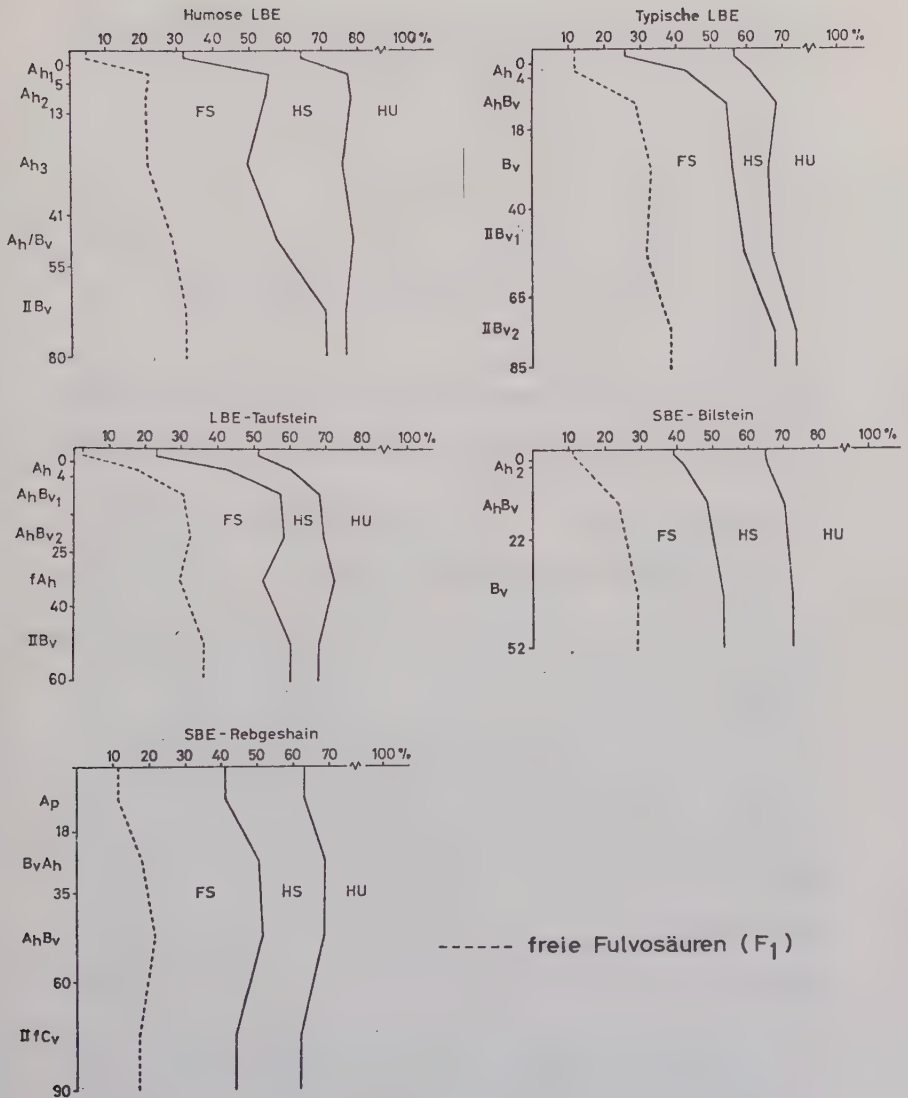


Abb. 4: Die Huminstofffraktionen in % des Gesamthuminstoffgehaltes (C_{12})

auf über 80 %, in der Typischen LBE dagegen nur auf Werte zwischen 67 und 78 %. Die niedrigsten Werte treten dabei im Bereich der IIB_V-Horizonte, die höchsten Werte im Bereich der A-Horizonte auf. Wie zu erwarten, ist dieser Anteil in allen O-Horizonten am höchsten (rund 90 %). Die Extraktionsraten des SBE-Profiles Bilstein sind denen der Humosen LBE und der LBE Taufstein vergleichbar, während die Werte der SBE Rebgeshain noch unter denen der Typischen LBE liegen.

Der hohe Anteil freier Huminstoffe geht auch aus der hohen Extraktionsrate der 1. Extraktion des unmittelbaren NaOH-Extraktes hervor (1. Extraktion in % der Summe des 1. und 2. Extraktes). In der Humosen LBE werden bereits mehr als 90 % der freien bzw. an mobilen Sesquioxiden gebundenen Huminstoffe erfasst; eine Ausnahme bildet der IIB_V-Horizont mit weniger als 90 %. Auch in den beiden anderen LBE-Profilen äussert sich der Substratwechsel in geringeren Raten bei der 1. Extraktion, jedoch auch durch gegenüber der Humosen LBE geringere Raten in den oberen Profilschnitten (Humose LBE > LBE Taufstein > Typische LBE). Die entsprechenden Extraktionsraten der SBE-Profile sind mit denen der beiden zuletzt genannten LBE-Profile vergleichbar.

Der hohe Anteil leichtlöslicher Huminstoffe ist auch aus einer Gegenüberstellung der FS- bzw. HS-Fraktion der Einzelextraktionen ersichtlich (Summe der jeweiligen Fraktion = 100). Mehr als 80 % der Gesamt-FS sind in den Profilen Humose LBE, LBE Taufstein und SBE Bilstein den freien bzw. an mobilen Sesquioxiden gebundenen Fulvosäuren zuzuschreiben. Dieser Anteil liegt in dem SBE-

Profil Rebgeshain mit rund 70 % am niedrigsten, während die Werte des Profils Typische LBE zwischen diesen beiden Gruppen einzuordnen sind. Die höchsten Extraktionsraten sind wiederum in den O-Horizonten, die geringsten in den IIB_v-Horizonten zu verzeichnen. Die entsprechenden Relativwerte für die freien und an mobile Sesquioxide gebundenen Huminsäuren liegen in den Profilen Humose LBE und SBE-Bilstein, mit Ausnahme des jeweils untersten Horizontes, noch geringfügig über den Werten der Fulvosäuren. In den übrigen Profilen ist dies nur in den O-Horizonten sowie in dem A_h-Horizont des Profils Taufstein und dem IIFC_v-Horizont des Profils Rebgeshain der Fall. 2/3 bis 3/4 der extrahierbaren Huminsäuren liegen somit in freier bzw. nur sehr locker gebundener Form vor. Eine Ausnahme bildet die Typische LBE, in der dieser Anteil in den untersten Horizonten bis auf 50 % zurückgeht (Tab. 10 und 11).

Die absoluten C-Gehalte der H₂-Huminsäuren (mg C/ 100 mg Boden) bewegen sich in LBE-Profilen zwischen 0,0252-8,6437, im Profil Bilstein zwischen 0,2615-2,0190 und im Profil Rebgeshain zwischen 0,1730-0,5202. Mit Ausnahme des fA_h-Horizonts im Profil Taufstein und des IIFC_v-Horizonts im Profil Rebgeshain sinken die absoluten C-Gehalte an H₂-Huminsäuren in allen Profilen mit der Tiefe. Die C-Gehalte der H₂-Huminsäuren betragen in LBE-Profilen 3,4-30,4 % des Gesamt-C (C_{t2}), im Profil Bilstein 13,7-22,8 %, in Profil Rebgeshain 11,0-16,5 %.

Bezogen auf den gesamtextrahierbaren C-Gehalt erreichen die C-Gehalte an H₂-Huminsäuren die folgenden Werte:

in LBE-Profilen 4,5-50,3 %

im Profil Bilstein 19,11-35,1 %

im Profil Rebgeshain 19,9-26,1 %.

Die relativen Werte der H_2 -Huminsäuren (in % des Gesamt-C und des gesamtextrahierbaren Kohlenstoffs) sind hinsichtlich der Tiefenfunktion aufschlussreicher als die absoluten Werte. Sie nehmen in den Profilen Typische LBE und Profil Bilstein mit der Tiefe ab. Im Profil Rebgeshain erfahren sie im IIfC_V-Horizont eine geringe Zunahme. Dagegen besitzen die Profile Humose LBE und Taufstein eine deutliche abweichende Tiefenfunktion. Der f_{A_h} -Horizont des Profils Taufstein weist mehr Huminsäuren auf als die angrenzenden Horizonte. Auch in der Humosen LBE nehmen die Huminsäuregehalte von A_{h1} zu A_{h3} zu. Da die Gehalte an Huminstoffen und Fulvosäuren in dieser Richtung nicht zunehmen (keine Abnahme des Huminsäuren/Fulvosäuren-Verhältnisses) wird die Zunahme nicht als Folge einer Humusverlagerung, sondern als hinterlassene Spuren der älteren Vegetationen angesehen. Die Huminsäureverteilung in der Humosen LBE lässt sich auf die Vorgeschichte des heutigen Waldes zurückführen. In früheren Zeiten war der Oberwald von Wald und dann die Fläche, in der das Profil liegt, von Grasvegetation bedeckt. In einer späteren Zeit wurde das Gebiet aufgeforstet (SCHMITZ 1929, FIRBAS 1952, STECKAN 1961, IMMEL 1972). Nach dem Vordringen des Waldes wurden die oberen Bodenschichten verändert. Der Wald verursachte den Abbau der Huminsäuren unter der Wirkung der organischen Stoffe der Streudecke, die dadurch in den Boden eingespült wurden.

Nach STECKAN (1961) stockt die Fichte des Oberwaldes vorwiegend auf ehemaligen Bergwiesen und Äckern, die durch die Eingriffe des Menschen entstanden sein sollen. IMMEL (1972) berichtet auch von Gräben, die bei der Aufforstung 1877 gezogen wurden, um die jungen Fichten gegen Wind zu schützen. Daraus dürfte geschlossen werden, dass bei der Bildung des Humus in diesem Profil auch die Eingriffe des Menschen eine grosse Rolle gespielt haben.

Während in dem humosen LBE-Profil die Huminsäuren von A_{h1} zu A_{h3} allmählich zunehmen, nimmt der Huminsäuregehalt im Profil Taufstein von A_{hB_v} (11 % des C_{t2}) zu fA_h (19 %) plötzlich zu. Nach der Huminstoff- und Sesquioxidverteilung sind hier keine Podsolierungsmerkmale festzustellen. SEMMEL (1968) bezeichnet diesen Horizont als Schwarzerderrelikt. Aber der Humus dieses Horizonts weist keine für Schwarzerde bzw. degradierte Schwarzerde charakteristischen Merkmale auf. Daher ist das humose Material kein Schwarzerderrelikt. Die beobachteten Unterschiede in der Humuszusammensetzung und die Beschaffenheit der Huminsäure führen zu der Vermutung, dass es sich bei diesem Horizont wahrscheinlich um einen fossilen A-Horizont handelt, dessen Humus wahrscheinlich unter Grasvegetation gebildet wurde. Der fossile Charakter dieses Horizonts wurde auch durch die ^{14}C -Datierung bestätigt. Nach der ^{14}C -Datierung weist dieser Horizont ein Alter von 5360 ± 80 auf, während der A_{hB_v} -Horizont 2540 ± 70 alt ist.

Die absoluten C-Gehalte der F_2 -Fulvosäuren schwanken in LBE-Profilen zwischen 0,4048 bis 7,5025, in Profil Bilstein zwischen

0,8237 bis 2,9855, in Profil Rebgeshain zwischen 0,4615 bis 0,9257. Sie nehmen in allen Profilen ohne Ausnahme mit der Tiefe ab. Die Maxima liegen in den O- und A_p -Horizonten, während sich die Maxima der F_1 -Fulvosäuren in A_h - und A_{hB_v} -Horizonten finden.

Nach den relativen Werten der F_2 -Fraktion (prozentuale Anteile des F_2 -Kohlenstoffs an C_{t2}) lassen sich die Profile in der Reihenfolge LBE (20,2-56,8 %), Bilstein (33,7-43,6%) und Rebgeshain (49,4-35,5 %) einordnen. Die Tiefenfunktion der F_2 -Fulvosäuren ist die gleiche wie die der F_1 -Fulvosäuren. Die Werte nehmen auch hier im allgemeinen mit der Tiefe zu. Als Ursache werden die Verlagerung der Fulvosäuren und die in der gleichen Richtung abnehmenden Tätigkeit der Mikroorganismen sowie die Polymerisations- und Kondensationsprozesse angesehen. Die Abweichungen von dieser Tiefenfunktion sind wie bei den Huminsäuren schon besprochen wurde mit der Vegetationsgeschichte und dem Substratwechsel zu erklären.

Die F_2 -Fraktion beinhaltet auch die F_1 -Fraktion. Die F_1 -Gehalte wurden von den F_2 -Gehalten subtrahiert. Sie liegen in LBE-Profilen 0,0928-6,3145 (mg /100 mg Boden), im Profil Bilstein 0,2993-2,0055 und im Profil Rebgeshain 0,1915-0,5707; ihr Anteil an F_2 beträgt in LBE-Profilen 22,6-91,9, in Profil Bilstein 36,1-67,1 und im Profil Rebgeshain 39,0-61,6. Die Differenz-Fulvosäuren (F_2 minus F_1) werden nach DORMAAR (1964) als die an den Huminsäurekomplex gebundenen Fulvosäuren aufgefasst. Der Anteil der an den Huminsäurekomplex gebundenen Fulvosäuren dürfte aber wegen der guten Durchlässigkeit und der starken Durch-

feuchtung dieser Böden gering sein. Um Anhaltspunkte über die Faktoren zu erhalten, die eine Erhöhung der Fulvosäuren in dem alkalischen Extrakt verursachen können, wurden von PREUSSE (1969) die Gehalte an Huminsäuren des unmittelbaren 0,1 n NaOH-Extraktes den jeweiligen Fulvosäuregehalten gegenübergestellt (die Säureextraktion wurde von diesem Autor jedoch mittels 0,05 n H_2SO_4 durchgeführt). Die Beziehungen beider Grössen sind hochsignifikant positiv. In dem Typischen LBE-Profil sind nach diesem Autor unter Ausschluss des O-Horizonts etwa 27 % der F_2 -Fulvosäuren nicht an Huminsäuren gebunden. Die höhere Löslichkeit der Fulvosäuren im alkalischen Milieu wird auf folgende Faktoren zurückgeführt:

- a) Die Wahrscheinlichkeit, dass aus Gewebestrukturen Nichthuminstoffe freigesetzt werden (diese werden in der Fulvosäurefraktion mitbestimmt), ist bei alkalischer Extraktion grösser als bei saurer Extraktion. MAX & BUCH (1962) stellten fest, dass in einigen Böden des Vogelsbergs mit NaOH die nichthumifizierten Pflanzenreste aufgelöst werden.
- b) Die Depolymerisationsreaktionen können zu einer Spaltung von Huminsäuren führen, wobei die Spaltprodukte in der Fulvosäurefraktion erscheinen.
- c) Die Löslichkeit der Fulvosäuren, die an anorganische Bodenbestandteile gebunden sind, dürfte im alkalischen Milieu höher sein als im sauren; so sind z.B. von den hohen Gehalten an freiem Bodeneisen sehr hohe Anteile kristallin; Fulvosäuren, die an diese gealterten Eisenoxide gebunden sind, dürften mittels Schwefelsäure nur schwer aus diesen Bindungen zu

entfernen sein, leichter dagegen mittels NaOH. Ebenso dürften die amorphen anorganischen Bodenbestandteile, die amphoteren Charakter bzw. variable Ladung besitzen (z.B. Allophane), in der Lage sein, die Fulvosäuren direkt zu binden. Bei Überschreiten von pH 6 ist mit einer höheren Extrahierbarkeit dieser Fulvosäuren zu rechnen.

Die absoluten Gehalte (mg C/ 100 mg Boden) an (F_2 minus F_1) Fulvosäuren nehmen in allen Profilen mit der Tiefe ab. Auch ihre prozentualen Anteile an F_2 -Fulvosäuren zeigen im allgemeinen die gleiche Tendenz. Die Abnahme mit der Tiefe ist in den LBE-Profilen ausgeprägter als in den SBE-Profilen. Aufgrund der mit zunehmender Tiefe abnehmenden prozentualen Anteile der (F_2 minus F_1)-Gehalte an F_2 -Gehalten ist eine Verlagerung anzunehmen.

Für diese Verteilung können aber auch folgende Faktoren verantwortlich sein:

- a) Da die Polymerisationsbedingungen in den oberen Profilschnitten günstiger sind als in den unteren, dürfte der Anteil der zu den Huminsäuren tendierenden Fulvosäuren, die mittels NaOH erfasst werden, im Oberboden höher sein als im Unterboden.
- b) Da die absoluten Huminsäuregehalte mit der Profiltiefe abnehmen, dürfte auch der Anteil der (F_2 minus F_1) Fulvosäuren an F_2 -Fulvosäuren wegen der an Huminsäurekomplexe gebundenen Fulvosäuren und der durch die Depolymerisationsreaktionen hervorgerufenen Huminsäurespaltprodukte in gleicher Richtung abnehmen.

- c) Da in alkalischem Milieu auch Nichthuminstoffe aus Gewebestrukturen freigesetzt werden, ist im Oberboden mit einem hohen Anteil dieser Stoffe zu rechnen.
- d) Der Anteil der Fulvosäuren, die an die anorganischen Bodenbestandteile gebunden sind und im alkalischen Milieu hohe Löslichkeit aufweisen, dürfte im Oberboden höher sein als im Unterboden (aufgrund der Sesquioxid- und Tonverteilung).

Fraktion 3 (F_3 -Fulvosäuren) (0,5 n H_2SO_4 -Extraktion)

Diese Fraktion besteht aus Fulvosäuren, die fester an anorganische Bodenbestandteile, überwiegend an Sesquioxide, gebunden sind und noch nicht in 0,1 n NaOH löslich sind.

Die absoluten F_3 -Gehalte (mg C/ 100 mg Boden) liegen in LBE-Profilen 0,0560-0,5400, in Profil Bilstein 0,1035-0,1650 und in Profil Rebgeshain 0,11080-0,1312. Abgesehen von den A_p - und O-Horizonten sinken die absoluten Gehalte in den Profilen mit der Tiefe; die Maxima liegen im A_n - bzw. unter Acker im A_nB_v -Horizont.

Im Gegensatz zu F_1 - und F_2 -Fulvosäuren stellen F_3 -Fulvosäuren einen geringeren Teil des Gesamt-C (C_{t2}) dar. Ihr Anteil an gesamtextrahierbaren Huminstoffen (1,3-18,2 %) und an den Gesamtfulvosäuren (2,9-20,8) ist ebenfalls im Vergleich zu den Anteilen der vorangegangenen Fulvosäurefraktionen viel geringer.

Im Gegensatz zu den absoluten Gehalten steigen die relativen F_3 -Gehalte (in % des C_{t2} -Gehaltes) im allgemeinen mit der Profiltiefe an, wobei sich die Solifluktionsschutthorizonte der

LBE-Profile durch die höheren F_3 -Gehalte (6,1-12,1 %) von den Decksedimenthorizonten (2,5-5,5 % in den Mineralbodenhorizonten) unterscheiden.

Zwischen der Verteilung von F_3 -Gehalten und Sesquioxid- und Tongehalten ist keine Beziehung festzustellen.

Fraktion 4 (H_4 -Huminsäuren und F_4 -Fulvosäuren) (0,1 n NaOH-Extraktion)

Diese Fraktion besteht aus an Sesquioxide geringer Mobilität gebundenen Huminstoffen, Ca-Humaten und an Huminsäuren gebundenen Fulvosäuren. Gemeinsam ist diesen Huminstoffen die geringe Mobilität, da sie erst nach Entfernung von Ca- und auch Sesquioxidbrücken gelöst bzw. peptisiert werden.

Wie schon erwähnt wurde, ist der Anteil der nach der Säurebehandlung extrahierbaren Huminstoffe gegenüber denen der vorangegangenen NaOH-Extraktion viel niedriger. Er beträgt in LBE-Profilen 4,2-11,7 %, im Profil Bilstein 6,5-9,2 % und im Profil Rebgeshain 13,1-14,2 % des C_{t2} -Gehalts. Somit ist der Anteil fester gebundener Huminstoffe in den untersuchten Böden viel geringer als der der leicht löslichen Huminstoffe. Die auffallend hohen Werte des Profils Bilstein sind ein Hinweis darauf, dass der Anteil fester gebundener Huminstoffe bei ackerbaulich genutzten Böden höher ist als in Waldprofilen. Für die relativ höheren Werte im Profil Rebgeshain ist neben der Verminderung der Zwischenprodukte infolge intensiverer Mikroorganismen-tätigkeit und leichterer Zersetzbarkeit der Pflanzenreste vor allem der

höhere Basengehalt verantwortlich zu machen.

Eindeutigere Aussagen ermöglichen jedoch die auf die gesamt-extrahierbaren Huminstoffe bezogenen Werte. Die entsprechenden Relativwerte des SBE-Profiles Bilstein sind denen der Humosen LBE und der LBE Taufstein vergleichbar, während die Werte der Typischen LBE noch unter denen der SBE Rebgeshain liegen.

Da in den Waldprofilen die F_4 -Gehalte gegenüber den F_{2b} -Gehalten niedriger liegen, wird bei einer Gegenüberstellung von Fraktion 2b und Fraktion 4 die Wirkung der Säurevorbehandlung auf die Extrahierbarkeit der Huminstoffe verwischt. Aber aus einer Gegenüberstellung der H_{2b} - und H_4 -Fraktionen geht deutlich hervor, dass durch die Säurevorbehandlung die Extrahierbarkeit der Huminsäuren in den Mineralbodenhorizonten der Profile Bilstein, Typische LBE, Taufstein (mit Ausnahme von fA_h) und in dem $II B_V$ -Horizont der Humosen LBE ansteigt. Die Zunahme der Huminsäuregehalte ist in den SBE-Profilen auf die Entfernung von Ca- und Sesquioxidbrücken und in den LBE fast nur auf die Entfernung der Sesquioxidbrücken zurückzuführen.

Die absoluten H_4 -Gehalte betragen in LBE-Profilen 0,0150-0,7687, im Profil Bilstein 0,1068-0,2718, im Profil Rebgeshain 0,0881-0,1823 (mg C/100 mg Boden). Sie nehmen in den Profilen Typische LBE, Rebgeshain und Bilstein mit der Tiefe ab, während in den Profilen Humose LBE und Taufstein bei den Horizonten A_{h3} und fA_h geringe Zunahmen festzustellen sind. Somit entspricht ihre Tiefenfunktion weitgehend der der H_2 -Fraktion.

Die H_4 -Huminsäuren machen in LBE-Profilen 1,9-5,6 %, im Profil Bilstein 3,0-5,6 % und im Profil Rebgeshain 5,6-5,8 % des C_{t2} -Gehaltes aus. Bei der Verteilung der relativen H_4 -Gehalte (in % des C_{t2} -Gehaltes) innerhalb des Profils ist eine Abnahme mit der Tiefe wie bei der relativen H_2 -Gehalte nicht feststellbar.

Der Anteil der H_4 -Huminsäuren an den Gesamthuminsäuren beträgt in LBE-Profilen 6,2-50,0 %, im Profil Bilstein 11,8-29,0 % und im Profil Rebgeshain 25,9-34,6 %. Hinsichtlich der H_4 -Gehalte an den Gesamthuminsäuren weisen die LBE-Profile grosse Unterschiede auf. Abgesehen vom extremen IIB_v-Horizont (37,2 %) bleiben diese Werte in den Mineralbodenhorizonten der Humosen LBE zwischen 11,4-13,2 %, während sie in der Typischen LBE 23,4-50,0 % erreichen. Nach den entsprechenden Werten nimmt das Profil Taufstein eine Zwischenstellung ein. Es zeigt, dass die Bindungintensität der Huminsäuren in den LBE grosse Unterschiede aufweist.

Die absoluten F_4 -Gehalte liegen in LBE-Profilen 0,0300-0,8055 (mg C/100 mg Boden), im Profil Bilstein 0,0690-0,3046 und im Profil Rebgeshain 0,1181-0,2720 und nehmen mit Ausnahme des A_h-Horizonts vom Profil Bilstein mit der Tiefe ab. Auch ihr Anteil an den Gesamthuminstoffen ist gering. Er beträgt in LBE-Profilen 2,2-6,5 %, im Profil Bilstein 3,4-4,6 % und im Profil Rebgeshain 7,3-8,6 %.

Horizont	Fraktion 1 FS (F ₁)	Fraktion 2				Fraktion 3 FS (F ₃)	Fraktion 4		Gesamt- FS (F ₂ +F ₃ + F ₄)	Gesamt- extra- humere Huminstoffe	Gesamt- Huminstoffe								
		1.Extrakt (2a) HS(H ₂ a) FS(F _{2a})	2.Extrakt (2b) HS(H ₂ b) FS(F _{2b})	Summe	HS(H ₂) FS(F ₂)		HS(H ₄) FS(F ₄)	Summe											
Profilt																			
O _{Fl}	1,1890	7,6500	6,7600	14,4100	0,6975	7,7425	1,4400	8,3475	7,5025	15,8500	4,4500	0,6550	1,1700	8,9025	8,6575	17,5600	9,8418	27,6018	
A _{h1}	1,8240	1,3950	3,5400	4,9350	0,1688	0,2869	4,4557	1,5638	3,8269	5,3907	0,4100	0,2400	0,3443	1,8038	4,5787	6,3925	1,9011	8,2631	
A _{h2}	1,5120	1,3500	3,1400	4,4900	0,1665	0,2386	4,3851	1,4965	3,3786	4,8751	0,3300	0,2025	0,2275	1,4990	3,9361	5,6351	1,5939	7,2990	
A _{h3}	1,3320	1,2825	2,3400	3,6225	0,1486	0,2197	4,3683	1,4311	2,5597	3,9908	0,2700	0,2175	0,2275	1,4450	1,6486	3,0572	4,7058	1,5264	6,2372
A _{h4}	0,5160	0,3087	0,8400	1,1487	0,0405	0,0743	0,1148	0,9143	0,9143	1,2635	0,0920	0,0450	0,0650	0,1100	0,3942	1,0713	1,4655	0,3708	1,8363
IIB _h	0,2280	0,0200	0,3675	0,3875	0,0052	0,0450	0,0502	0,4125	0,4377	0,0560	0,0150	0,0455	0,0605	0,0402	0,0710	0,5542	0,1710	0,7252	
D _{Fl}	0,6900	7,1484	5,4563	12,6047	0,6281	6,5653	1,2844	7,7765	6,0844	13,8891	0,2100	0,6750	0,7312	1,4062	8,4415	7,0538	10,5052	14,7495	30,2250
A _h	1,8600	1,4250	3,4405	4,8655	0,1932	0,4141	0,6133	1,6242	3,8547	5,4789	0,7663	0,2719	0,3937	0,5866	1,8961	4,5147	6,4108	4,1917	10,6025
A _{Bv1}	1,4450	0,3113	2,0025	2,3138	0,0881	0,3125	0,4006	0,3994	2,3150	2,7144	0,2010	0,1200	0,2137	0,3337	0,5194	2,7297	3,2066	1,5001	4,7512
A _{Bv2}	1,4400	0,3075	1,9275	2,2350	0,0806	0,2813	0,3619	0,3881	2,2088	2,5969	0,1800	0,1125	0,1917	0,3037	0,5006	2,1500	3,0806	1,3446	4,4250
FA _h	0,9300	0,3309	0,9825	1,3134	0,1463	0,3844	0,5307	0,4772	1,3669	1,8411	0,1500	0,1425	0,1237	0,2662	0,6142	1,6406	2,2603	0,6575	3,1178
LRF IIB _h	0,3637	0,0456	0,4025	0,4481	0,0125	0,1125	0,1250	0,0581	0,5150	0,5731	0,0620	0,0300	0,0500	0,0781	0,6070	0,6851	0,3162	1,5019	
D _{Fl}	0,5300	7,8375	5,3150	13,1525	0,8062	1,2515	2,0577	8,6437	5,5665	15,2402	0,3900	0,7687	0,8093	1,5780	9,4124	7,7658	17,1782	13,2255	30,4037
A _h	1,4500	1,4953	3,5300	5,0253	0,2437	0,6187	0,8624	1,7390	4,1487	5,8877	0,4350	0,5343	0,6781	1,2124	0,2733	5,2618	7,5351	4,7445	12,2795
A _{Bv}	1,6650	0,3539	2,1237	2,4776	0,1289	0,4640	0,5929	0,4828	2,5877	3,0705	0,1987	0,3281	0,3500	0,6781	0,8109	3,1364	3,9478	1,8255	5,7728
IIB _h	0,9800	0,1098	1,0807	1,1905	0,0468	0,2450	0,2318	0,1566	1,1957	1,4823	0,1650	0,1473	0,1719	0,3223	0,3039	1,6657	1,9648	1,1192	2,9878
IIB _{v1}	0,4200	0,0393	0,4275	0,4668	0,0168	0,1153	0,1321	0,0561	0,5428	0,5989	0,1635	0,0562	0,0875	0,1437	0,1123	0,7838	0,8061	0,4359	1,3470
IIB _{v2}	1,3120	0,0206	0,3168	0,3374	0,0068	0,0843	0,0911	0,0274	0,4048	0,4327	0,0880	0,0212	0,0525	0,0737	0,0484	0,5416	0,5902	0,2110	0,8012
O	0,9800	1,7800	2,6809	4,4609	0,2390	0,3046	0,5436	2,0190	2,9855	5,0045	0,1650	0,2718	0,3046	0,5764	2,2908	3,4551	5,7459	3,0945	8,8404
A _h	1,0000	1,3000	2,2476	3,5476	0,2062	0,2945	0,5007	1,5062	2,5421	4,0483	0,1225	0,2437	0,3263	0,5890	1,7449	3,0647	4,8096	2,1560	7,3656
A _{Bv}	0,7750	0,5087	1,1208	1,6295	0,0883	0,2060	0,2943	0,5970	1,1268	1,9238	0,1200	0,1178	0,1508	0,2686	0,7148	1,5976	2,3124	0,9775	3,2899
B _v	1,5280	0,2175	0,6933	0,9108	0,0440	0,3340	0,1700	0,2615	0,8273	1,0988	0,1035	0,1068	0,0690	0,1758	0,3683	0,9998	1,3681	0,5274	1,8955
A _h	1,3550	0,4523	0,7820	1,2343	0,0679	0,1437	0,2116	0,5202	1,1957	1,4459	0,1312	0,1823	0,2320	0,4143	0,7025	1,2889	1,9914	1,1565	3,1479
A _{Bv}	1,3800	0,2250	0,6398	0,8648	0,0375	0,1125	0,1500	0,2625	0,7023	1,0148	0,1387	0,1718	0,1792	0,3010	0,3843	1,0702	1,4545	0,6607	2,1152
A _{Bv}	0,3330	0,1430	0,4309	0,5739	0,0300	0,1150	0,1457	0,1730	0,4359	0,7189	0,1280	0,0918	0,1350	0,2268	0,2648	0,8039	1,0067	0,4911	1,5598
IIB _v	0,2700	0,1561	0,3565	0,5126	0,0375	0,1050	0,1421	0,1936	0,4615	0,6551	0,1080	0,0881	0,1181	0,2062	0,2817	1,6876	0,9601	0,6012	1,5705

Tabelle 7. Huminstofffraktionen (mg C/ 100 mg Boden)

Profil	Fraktion 1 FS (F ₁)	Fraktion 2				Fraktion 3				Fraktion 4				Gesamt- extrahierb. Huminstoffe	Humine	HS/FS				
		1. Extrakt (2a)		2. Extrakt (2b)		1. + 2. Extrakt (2a+2b)		FS (F ₃)	Fraktion 4		Gesamt- FS (F ₂ +F ₃ + F ₄)	Gesamt- extrahierb. Huminstoffe								
		nS(H ₂ O) FS(F _{2a})	Summe	nS(H ₂ O) FS(F _{2b})	Summe	nS(H ₂ O) FS(F ₂)	Summe		HS(H ₄)	FS(F ₄)										
Humose LBE	B _{FH}	4,33	27,91	24,56	52,57	2,54	2,70	5,24	30,45	27,36	57,81	1,97	2,02	2,24	4,26	32,47	64,04	35,96	1,02	
	A _{h1}	22,02	16,84	42,73	59,57	2,03	3,46	5,49	18,87	46,19	65,06	4,94	2,89	4,12	7,01	21,76	55,25	77,01	0,39	
	A _{h2}	20,90	18,67	43,53	62,30	2,07	3,30	5,32	20,69	46,73	67,42	4,56	2,80	3,14	5,94	23,49	54,43	77,92	0,43	
	A _{h3}	21,37	20,57	37,54	57,81	2,38	3,52	5,90	22,95	41,06	64,01	4,33	3,48	3,65	7,13	26,43	49,04	75,47	0,53	
	A _{h4}	28,09	16,81	45,74	62,55	2,20	4,04	6,24	19,91	49,78	69,79	5,01	2,45	2,53	4,98	21,46	57,32	78,78	0,16	
Humose LBE	A _{h5}	31,42	2,75	50,65	53,40	0,72	6,20	6,92	3,47	56,85	60,32	7,71	2,06	6,27	8,33	5,53	70,83	76,36	23,64	0,07
	B _{2H}	2,28	23,65	16,05	41,70	2,07	2,17	4,24	25,72	20,22	45,94	0,69	2,23	2,41	4,64	27,85	23,37	51,27	1,19	
	A _h	17,54	13,44	37,45	45,89	1,87	3,90	5,77	15,31	36,35	51,66	2,51	2,56	3,71	6,27	17,87	42,77	60,44	0,41	
	A _{hB1}	30,41	6,55	42,14	48,69	1,85	6,57	8,42	8,40	46,71	57,11	4,23	2,52	4,49	7,01	10,92	57,43	68,35	0,19	
	A _{hB2}	32,54	6,94	43,55	50,49	1,82	6,35	8,17	8,76	49,90	59,66	4,06	2,54	4,32	6,86	11,30	58,78	59,58	0,19	
LBE Taurische LBE	A _h	29,82	10,61	31,51	42,12	4,69	12,32	17,01	15,30	43,83	59,13	4,81	4,57	3,96	8,53	19,87	52,60	72,47	0,37	
	A _{hB}	36,32	4,55	40,19	44,74	1,24	11,23	12,47	5,79	51,42	57,21	6,19	1,99	2,99	4,98	7,78	60,60	68,38	0,12	
	B _{2H}	1,74	25,77	17,48	43,25	2,65	4,11	6,76	28,42	21,59	50,01	1,28	2,52	2,61	5,18	30,94	25,53	56,47	1,21	
	A _h	11,80	12,17	28,74	40,91	1,98	5,03	7,01	14,15	33,77	47,92	3,54	4,35	55,2	9,87	18,50	42,83	61,33	0,43	
	A _{hB}	28,84	6,13	36,76	42,91	2,23	8,03	10,26	8,36	44,81	53,17	3,44	4,68	6,06	11,74	14,04	54,21	68,35	0,25	
Lysische LBE	B _{2H}	32,80	3,67	36,17	39,84	1,56	8,20	9,76	5,23	44,37	49,60	5,52	4,93	5,65	10,78	10,16	55,74	65,90	0,18	
	A _h	31,29	2,92	31,85	43,77	1,25	8,59	9,84	4,17	40,44	44,51	12,18	4,18	6,52	10,70	8,35	59,14	67,43	0,14	
	A _{hB}	38,94	2,57	39,54	42,11	0,84	10,52	11,36	3,41	50,05	53,47	10,98	2,64	6,55	9,19	6,05	67,59	73,64	27,36	0,08
	B _{2H}	11,08	20,13	30,32	50,45	2,70	3,44	6,14	22,83	33,76	56,59	1,86	3,07	3,44	6,51	25,90	39,06	64,96	0,56	
	A _h	13,57	17,64	30,51	48,15	2,79	3,99	6,78	20,43	34,50	54,93	2,34	3,30	4,68	7,98	23,73	42,52	65,25	34,75	0,56
Blutstein	A _{hB}	23,55	15,46	34,06	49,52	2,68	6,26	8,94	18,14	40,32	58,46	3,64	3,58	4,58	8,16	21,72	48,54	70,26	29,74	0,42
	B _{2H}	27,85	11,47	36,57	48,04	2,12	7,06	9,18	13,79	43,63	57,42	5,46	5,63	3,64	9,27	19,42	52,73	72,15	27,85	0,36
	A _h	11,27	14,36	24,84	39,20	2,15	4,56	6,71	16,51	29,40	45,91	4,16	5,79	7,36	13,15	22,30	40,92	63,22	36,78	0,54
	A _{hB}	17,96	10,63	30,24	40,87	1,77	5,31	7,08	12,40	35,55	47,95	6,55	5,75	8,47	14,22	18,19	50,53	68,47	31,28	0,15
	A _{hB}	21,34	9,16	27,62	36,78	1,92	7,37	9,29	11,08	34,99	46,07	7,88	5,88	8,65	14,53	16,96	51,52	68,48	31,52	0,32
Rohstein	A _h	17,19	9,93	22,69	32,62	2,38	6,68	9,06	12,31	29,37	41,68	6,87	5,60	7,51	13,51	17,91	44,15	62,06	37,94	0,40
	A _{hB}																			

Tabelle 8. Huminstofffraktionen (in % des Gesamt-C)

Profil	Horizont	Fraktion 2										Fraktion 3			Fraktion 4		
		1. Extraktion				2. Extraktion				1.+2. Extraktion							
		HS	FS	Σ		HS	FS	Σ		HS	FS	Σ		HS	FS	Σ	
LBF Tachstein	0	6,26	43,56	38,49	82,06	3,97	4,22	8,20	47,53	42,72	90,26	3,07	3,16	3,50	6,66		
	A _{h1}	28,58	21,85	55,46	77,32	2,64	4,49	7,13	24,50	59,95	84,46	6,42	3,76	5,34	9,10		
	A _{h2}	26,83	23,95	55,72	79,67	2,59	4,23	6,83	26,55	59,95	86,51	5,85	3,59	4,03	7,63		
	A _{h3}	28,30	27,25	49,72	76,87	3,15	4,66	7,82	30,41	54,39	84,80	5,73	4,62	4,83	9,45		
	A _{h v}	35,20	21,06	57,31	78,38	2,76	5,06	7,83	23,82	62,38	86,21	6,27	3,07	4,43	7,50		
LBF Tachstein	IIB _v	41,14	3,60	66,31	69,92	0,93	8,11	9,05	4,45	74,43	78,97	10,10	2,70	8,21	10,91		
	0	4,45	46,10	35,19	81,30	4,05	4,23	8,28	50,16	39,24	89,58	1,35	4,35	4,71	9,07		
	A _h	29,01	22,22	53,66	75,89	3,10	6,45	9,56	25,33	60,12	85,46	4,15	4,24	6,14	10,38		
	A _{h v1}	44,47	9,58	61,64	71,22	2,71	9,61	12,33	12,29	71,26	83,55	6,46	3,69	6,57	10,27		
	A _{h v2}	46,74	9,98	62,56	72,55	2,61	9,13	11,74	12,59	71,70	84,29	5,84	3,65	6,20	9,85		
LBF Tachstein	fA _h	41,14	14,63	43,46	58,10	6,47	17,00	23,47	21,11	60,47	81,45	6,63	6,30	5,47	11,77		
	IIB _v	58,08	6,65	58,75	65,40	1,82	16,42	18,24	8,48	75,17	83,65	9,04	2,91	4,37	7,29		
	0	3,08	45,62	30,94	76,56	4,69	7,28	11,97	50,31	38,22	88,71	2,27	4,47	4,71	9,18		
	A _h	19,24	19,84	46,84	66,69	3,23	8,21	11,44	23,07	55,05	78,13	5,77	7,09	8,99	16,09		
	A _{h v}	42,18	8,96	53,80	62,76	3,26	11,75	15,02	12,22	65,55	77,78	5,03	8,31	8,86	17,17		
Typische LBF	B _v	49,75	5,57	54,86	60,44	2,37	12,43	14,81	7,95	67,30	75,25	8,37	7,47	8,88	16,36		
	IIB _{v1}	46,75	4,38	47,70	52,09	1,87	12,86	14,74	6,25	60,57	66,83	18,24	6,27	9,76	16,03		
	IIB _{v2}	52,96	3,49	53,67	57,16	1,15	14,28	15,43	4,64	68,58	73,22	14,91	3,59	8,89	12,48		

Tabelle 9 a. Der C-Gehalt der Fraktionen in % extrahierbarer Huminstoffe

Profil	Horizont	Fraktion 1	Fraktion 2									Fraktion 3			Fraktion 4		
			1. Extraktion			2. Extraktion			1.+2. Extraktion								
			HS	FS	Σ	HS	FS	Σ	HS	FS	Σ	HS	FS	Σ	HS	FS	Σ
Bilstein	0	17,05	30,97	46,65	77,63	4,15	5,30	9,46	35,13	51,95	87,09	2,87	4,73	5,30	10,03		
	A _h	20,79	27,02	46,73	73,76	4,28	6,12	10,41	31,31	52,85	84,17	2,54	5,06	7,17	12,24		
	A _h B _v	33,51	21,99	48,46	70,46	3,81	8,90	12,72	25,81	57,37	83,19	5,18	5,09	6,52	11,61		
	B _v	38,59	15,89	50,67	66,57	3,21	9,79	13,01	19,11	60,47	79,58	7,56	7,80	5,04	12,84		
Rebgeshain	A _p	17,82	22,71	39,26	61,98	3,40	7,21	10,62	26,12	46,48	72,60	6,58	9,15	11,65	20,80		
	B _v A _h	26,12	15,46	43,98	59,45	2,57	7,73	10,31	18,04	51,72	69,76	9,53	8,37	12,32	20,69		
	A _h B _v	31,15	13,38	40,32	53,70	2,80	10,76	13,56	16,18	51,08	67,26	11,97	8,58	12,63	21,22		
	IIFC _v	27,85	16,10	36,77	52,88	3,86	10,83	14,70	19,97	47,61	67,58	11,14	9,08	12,18	21,27		

Tabelle 9 b. Der C-Gehalt der Fraktionen in % extrahierbarer Huminstoffe

Profil	Horizont	Fraktion 1 F ₁	Fraktion 2			Fraktion 3 F ₃	Fraktion 4 F ₄	$\frac{F_1}{F_2} \times 100$
			F _{2a}	F _{2b}	F _{2(a+b)}			
Humose LBE	D	13,72	78,08	8,57	86,65	6,23	7,60	15,83
	A _{h1}	39,84	77,32	6,26	83,58	8,95	7,45	47,66
	A _{h2}	38,41	79,77	6,06	85,83	8,38	5,77	44,75
	A _{h3}	43,56	76,54	7,18	83,72	8,83	7,44	52,03
	A _{hB_v}	48,16	78,40	6,93	85,34	8,58	6,06	56,43
	IIB _v	44,35	71,49	8,75	80,25	10,89	8,85	55,27
LBE-Taufstein	D	9,78	77,35	9,30	86,65	2,97	10,36	11,28
	A _h	41,19	76,20	9,17	85,38	6,40	8,71	48,28
	A _{hB_{v1}}	52,93	73,35	11,44	84,80	7,36	7,82	62,41
	A _{hB_{v2}}	55,81	74,70	10,90	85,61	6,97	7,41	65,19
	FA _h	56,68	59,88	23,43	83,31	9,14	7,53	68,03
	IIB _v	59,91	66,30	18,53	84,84	10,21	4,94	70,62
Typische LBE	D	6,82	68,44	16,11	84,55	5,02	10,43	8,07
	A _h	27,55	67,08	11,75	78,84	8,26	12,88	34,95
	A _{hB_v}	53,08	67,71	14,79	82,50	6,33	11,15	64,34
	B _v	58,83	64,87	14,70	79,58	9,90	10,50	73,92
	IIB _{v1}	53,58	54,54	14,71	69,25	20,85	11,16	77,37
	IIB _{v2}	57,60	58,49	19,56	74,74	16,24	9,69	77,07
Bilstein	D	28,36	77,59	8,81	86,40	4,77	8,81	32,82
	A _h	32,62	70,15	9,60	82,94	5,62	11,26	39,33
	A _{hB_v}	48,51	70,15	12,89	83,04	7,51	9,43	58,41
	B _v	52,81	69,34	13,40	82,74	10,35	6,90	63,82
Rebgeshain	A _p	27,54	60,67	11,15	71,82	10,17	17,99	38,34
	B _v A _h	35,50	59,78	10,51	70,29	12,96	16,74	50,51
	A _{hB_v}	41,42	53,60	14,30	67,90	15,92	16,79	61,00
	IIIfC _v	39,76	51,84	15,27	67,11	15,70	17,17	58,50

Tabelle 10. Die C-Gehalte der einzelnen Fulvosäurenfraktionen in
% des Gesamtfulvosäuren-C-Gehaltes

Profil	Horizont	Fraktion 2			Fraktion 4
		H _{2a}	H _{2b}	H ₂ (a+b)	
Humose LBE	O	85,95	7,82	93,77	6,22
	A _{h1}	77,38	9,32	86,71	13,28
	A _{h2}	79,48	8,59	88,08	11,91
	A _{h3}	77,82	9,00	86,83	13,16
	A _h B _v	78,33	10,25	88,58	11,41
	IIB _v	49,72	13,01	62,74	37,25
LBE Taufstein	O	84,61	7,40	92,02	7,97
	A _h	75,20	10,46	85,67	14,32
	A _h B _{v1}	59,39	16,94	76,92	23,07
	A _h B _{v2}	81,41	16,10	77,52	22,47
	fA _h	53,39	23,60	76,99	22,99
	IIB _v	58,48	15,93	74,42	25,52
Typische LBE	O	83,29	8,56	91,85	8,14
	A _h	65,78	10,70	76,48	23,51
	A _h B _v	43,66	15,88	59,54	40,45
	B _v	36,12	15,35	51,47	48,52
	IIB _{v1}	34,96	14,97	49,94	50,06
	IIB _{v2}	42,47	13,88	56,36	43,63
Bilstein	O	77,72	10,42	88,14	11,85
	A _h	74,33	11,75	86,09	13,90
	A _h B _v	71,17	12,33	84,76	16,48
	B _v	59,06	11,94	71,00	29,00
Rebgeshain	A _p	64,39	9,64	74,03	25,96
	B _v A _h	58,56	9,75	68,31	31,68
	A _h B _v	54,00	11,32	65,33	34,66
	IIfC _v	55,44	13,28	68,73	31,26

Tabelle 11. Der C-Gehalt der einzelnen Huminsäurenfraktionen in
% des Gesamt-Huminsäuren-C-Gehaltes

4.2.2.2. Die nicht extrahierbaren Huminstoffe (Humine)

Nach der Durchführung der erläuterten Extraktionen enthält der Bodenrückstand neben Streustoffen (z.B. Zellulose und Lignin) auch die Huminstoffe, die sich infolge einer engen Bindung an die Bodenbestandteile nicht extrahieren lassen.

Die absoluten C-Gehalte der Humine (mg C/ 100 mg Boden) betragen in LBE-Profilen 0,1710-14,7195, im Profil Bilstein 0,5274-3,0945 und im Profil Rebgeshain 0,6012-1,1565. Ihr Anteil an den Gesamthuminstoffen (C_{t2}) liegt in den Profilen Taufstein, Typische LBE, Rebgeshain und Bilstein zwischen 27,5 und 38,6 % (in den Mineralbodenhorizonten). Dagegen erreicht er in der Humosen LBE niedrigere Werte (21,2-24,5 %). Aufgrund der Verteilung der C-Gehalte der einzelnen Fraktionen in Prozent des C-Gehalts der gesamten extrahierbaren Huminstoffe sind die niedrigeren Werte in der Humosen LBE auf die schwächere Bindung an Minerale zurückzuführen und nicht auf den niedrigeren Gehalt an Streustoffen. Nach KONONOVA (1958) spielt die Mineralart bei der Bindung neben der der Huminstoffe eine wesentliche Rolle.

Die absoluten Gehalte an extrahierbaren Stoffen sinken mit Ausnahme des $II f C_v$ -Horizonts des Profils Rebgeshain mit der Tiefe. Dagegen schwanken die relativen Gehalte innerhalb der Profile. Jedoch entspricht die Tendenz im allgemeinen der Verteilung der absoluten Werte. Die Maxima liegen in den Auflagehorizonten. Die Abnahme mit der Tiefe dürfte auf folgende Faktoren zurückzuführen sein:

- a) auf die ungünstigeren Polymerisationsbedingungen
- b) auf die Abnahme der Streustoffe.

4.3. Der N-Gehalt und das C/N-Verhältnis

Neben dem Kohlenstoff wird der Stickstoff zur Kennzeichnung der organischen Substanz herangezogen, da dieser in den humosen Oberböden überwiegend in organischer Bindung vorliegt. Die anorganische Bindung des Stickstoffs beschränkt sich auf die des nativen und fixierten NH_4^+ . Diese Bindungsart kann in humusarmen Unterböden bei meist geringeren N_t -Gehalten prozentual höher sein als die organische Bindung. Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit die anorganische N-Bindung nicht bestimmt wurde, ist die Aussage vor allem bei der Beurteilung der Unterböden erschwert.

Erwartungsgemäss sind die N-Gehalte in den Auflagehorizonten mit Werten zwischen 0,7 und 1,7 % am höchsten (Tabelle 12). Die N-Gehalte der A_h -Horizonte der unter Wald liegenden Profile bewegen sich in der Grössenordnung zwischen 0,5 und 0,6 %, um in den Unterböden auf Werte um oder unter 0,1 % abzunehmen. Hingewiesen sei auf das ackerbaulich genutzte Profil Rebgeshain mit einer nur geringfügigen Abnahme der N-Gehalte mit der Tiefe. Hier dürfte jedoch die Düngung eine Rolle spielen, die auch zu einer Anreicherung anorganisch gebundenen Stickstoffs vor allem in den unteren Horizonten beiträgt.

Das C/N-Verhältnis als Ausdruck für die Humusqualität spiegelt vor allem in den Oberböden die standörtlichen Bedingungen wider, insbesondere die der Vegetation. Während unter ackerbaulicher Nutzung (Profil Rebgeshain) enge C/N-Verhältnisse vorliegen, nehmen diese über Buchen- zu Nadelwaldbeständen zu. Die weitesten Verhältnisse weist die Typische LBE auf, während die des Profils Humose LBE relativ eng sind.

Eine Verengung des Verhältnisses mit der Tiefe ist die Regel und unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Zersetzung des organischen Materials in den oberen Profilabschnitten weniger fortgeschritten ist als in den tieferen. Bei Ackernutzung ist der Unterschied gering, denn einerseits ist der Anteil der organischen Substanz nicht so stark an die oberen Profilabschnitte gebunden wie unter Wald und andererseits weist die biologische Aktivität innerhalb des Profils relativ geringe Unterschiede auf. Eine Verengung des C/N-Verhältnisses wurde auch im Profil Bilstein nicht festgestellt. Dagegen beobachtet man in den LBE-Profilen teilweise eine Verengung und zwar ist das Verhältnis in den Auflagehorizonten weit und in den tieferen Abschnitten enger. Das ungünstigste C/N-Verhältnis in der Moderauflage erklärt sich aus dem C/N-Verhältnis der Fichtennadelstreu und der gehemmten Zersetzung infolge saurer Reaktion und zersetzungshehmender organischer Stoffe. Die für die Humusbildung unter Fichte atypischen engen C/N-Verhältnisse in den A_n -Horizonten der Humosen LBE müssen im Zusammenhang mit der Vegetationsgeschichte dieses Standortes betrachtet werden. Die Humusformen mit höheren N-Gehalten und damit engeren

Humose LBE			LBE Taufstein			Typische LBE			Bilstein			Rebgeshain		
Hori- zont	N	C/N	Hori- zont	N	C/N	Hori- zont	N	C/N	Hori- zont	N	C/N	Hori- zont	N	C/N
0	1,4509	20,44	0	1,8284	18,86	0	1,6128	21,39	0	0,7140	13,16	A _p	0,3315	11,16
A _{h1}	0,5562	16,18	A _h	0,6510	18,81	A _h	0,5824	25,32	A _h	0,5600	13,92	B _v A _h	0,2150	10,23
A _{h2}	0,5036	14,52	A _h ^{B_{v1}}	0,3122	16,81	A _h ^{B_v}	0,2314	25,06	A _h ^{B_v}	0,2688	13,39	A _h ^{B_v}	0,1971	9,13
A _{h3}	0,4890	14,31	A _h ^{B_{v2}}	0,3010	15,91	B _v	0,1498	20,36	B _v	0,1400	17,97	II _f ^{C_v}	0,1792	10,32
A _h ^{B_v}	0,1216	16,44	fA _h	0,1946	17,47	II _B ^{v1}	0,0974	14,45						
II _B ^v	0,0409	17,11	II _B ^v	0,0660	15,90	II _B ^{v2}	0,0649	13,86						

Tabelle 12. Der N-Gehalt (in %) und das C/N-Verhältnis

C/N-Verhältnissen sind unter der ursprünglich vorhandenen Grasvegetation gebildet worden. Der fA_h -Horizont des Profils Taufstein weist ein weiteres C/N-Verhältnis auf als der darüberliegende Horizont. Auch CZERNEY (1965) und BUDINA (1961) stellen in den fossilen A_h -Horizonten die gleiche Eigenschaft fest.

4.4. Die Humifizierungszahl

Nach SPRINGER (1948) ist die Humifizierungszahl eine wichtige Kennzahl, da sie zum Bodentyp und zur Reife einer Humusbildung in enger Beziehung steht. Sie liegt umso höher je weiter die Humifizierung fortgeschritten ist. (SCHLICHTING & BLUME 1966). Die Humifizierungszahlen der untersuchten Böden sind in Tabelle 13 zusammengestellt. Da die MERCK-Huminsäure nicht erhältlich war, wurde als Vergleichspräparat bei den Extraktionsmessungen eine aus dem Auflagehorizont der Typischen LBE gewonnene Huminsäure benutzt ($Q_{4/6}$: 5,5, Asche : 2,4 % und C: 52,6 %). Daher ist es nicht möglich, die Humifizierungszahl in den untersuchten Böden mit den Humifizierungszahlen anderer Bodentypen zu vergleichen.

Die Humifizierungszahlen nehmen mit steigendem Huminsäureanteil am Gesamthumus sowie mit der Farbkraft der Huminsäuren zu. Dabei ist natürlich der Einfluss der mitextrahierten gebundenen Nichthuminstoffe auszuschliessen. Gerbstoffe liefern z.B. mit Lauge stark gefärbte Extrakte (SPRINGER & KLEE 1958). Weiter muss angenommen werden, dass die extrahierten Huminstoffe

in allen Proben in ihrem optischen Verhalten unter sich und mit dem Standartpräparat übereinstimmen (SCHLICHTING & BLUME 1966). Nach SPRINGER (1948) liegt die Humifizierungszahl der Braunerden und der entsprechenden Kulturböden etwa um 30 während sie in Moorböden und feuchten Wiesenböden bis zu 100 erreicht.

Humose LBE		Taufstein		Typische LBE		Bilstein		Rebgeshain	
O	59,92	O	48,84	O	47,44	O	24,84	A _p	16,44
A _{h1}	72,16	A _h	39,84	A _h	44,00	A _h	36,20	B _v A _h	14,28
A _{h2}	86,64	A _h B _{v1}	27,44	A _h B _v	24,04	A _h B _v	36,08	A _h B _v	11,68
A _{h3}	106,44	A _h B _{v2}	31,96	B _v	14,40	B _v	33,60	IIFC _v	11,40
A _h B _v	55,08	fA _h	56,60	IIB _{v1}	6,80				
IIB _v	4,36	IIB _v	11,52	IIB _{v2}	8,44				

Tabelle 13. Die Humifizierungszahl

Die höchsten Humifizierungszahlen (Maximum 106,4) weist die Humose LBE auf (Tabelle 13). Dagegen liegt das Profil Rebgeshain mit seinen niedrigen Humifizierungszahlen (Maximum 16,4) an letzter Stelle. Innerhalb der einzelnen Profile treten erhebliche Unterschiede auf. Auch mit Hilfe der Humifizierungszahl lassen sich in den Lockerbraunerden die Decksedimenthorizonte durch relativ hohe Werte eindeutig von den aus Solifluktionmaterial gebildeten Horizonten unterscheiden, während bezüglich der absoluten Werte in den Decksedimenthorizonten erhebliche Unterschiede auftreten. Die hohen Humifizierungszahlen der Humosen LBE müssen auf die ursprünglich auf diesem Standort herr-

schende Grasvegetation und der damit verbundenen Humifizierung in Richtung der Huminsäuren zurückgeführt werden. Der vom A_{h3} - zum A_{h1} -Horizont erfolgende Abfall kann als Huminstoffumbildung (Depolymerisation) bzw. als gehemmte Humifizierung unter den heutigen Vegetationsbedingungen gedeutet werden, zumal diese Tiefenfunktion auch der der relativen Huminsäuregehalte, der Huminsäure/Fulvosäureverhältnisse und auch der $Q_{4/6}$ -Werte entspricht. Wesentlich niedriger liegen die Humifizierungszahlen der übrigen Profile, deren Werte mit der Tiefe abnehmen und somit auch die in dieser Richtung abnehmende Humifizierung andeuten. Hierbei darf aber nicht die oben genannte Einschränkung bezüglich des Einflusses der Rotteprodukte übersehen werden, der besonders in den Oberböden unter Wald eine Rolle spielen dürfte. Die Ackernutzung und die durch die Bearbeitung hervorgerufene stärkere Mineralisierung muss als eine der Gründe für die geringen Humifizierungszahlen des Profils Rebgeshain angesehen werden. Als weitere Ursache muss auch die intensive Bindung der Huminstoffe an die mineralische Bodensubstanz angesehen werden, so dass bei der Extraktion die hochpolymeren und fest gebundenen Huminstoffe nicht erfasst werden. Diese Vermutung wird aus den Ergebnissen der sukzessiven NaOH-Extraktion abgeleitet, da im Zuge dieser nach der Säurebehandlung im Vergleich zu den anderen Profilen noch beträchtliche Anteile an Huminsäuren freigesetzt werden. Anschliessend sei noch auf den fA_h -Horizont des Profils Taufstein mit einer dem rezenten A-Horizont vergleichbaren Humifizierungszahl und auf die Parallelität zu den entsprechenden Huminsäure/Fulvosäureverhältnissen hingewiesen.

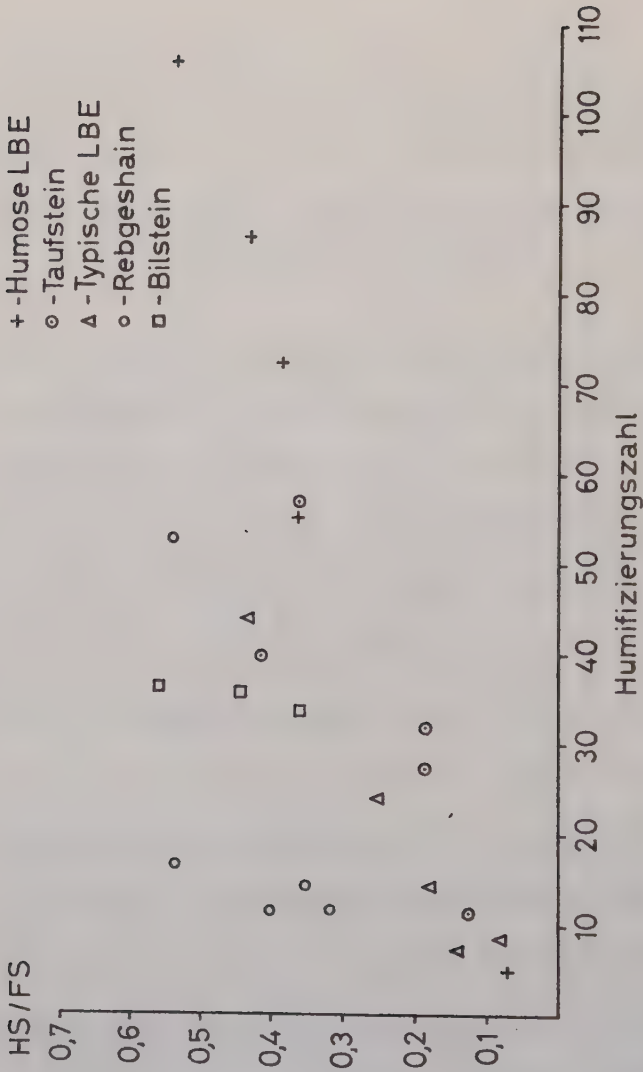


Abb. 5: Die Beziehung zwischen den Humifizierungszahlen und den HS/FS Verhältnissen

Aus dem Vergleich der Humifizierungszahl und dem Huminsäure/Fulvosäureverhältnis geht hervor (Abb.5), dass in den Mineralbodenhorizonten der LBE mit steigendem Huminsäure/Fulvosäureverhältnis auch die Humifizierungszahl zunimmt, wobei allerdings bei Humifizierungszahlen über 50 die Zunahme mit steigendem Huminsäure/Fulvosäureverhältnis geringer wird. Diese Erscheinung dürfte auf die Rotteprodukte zurückzuführen sein, deren Verbindungen überwiegend nicht säurefällbar, jedoch intensiv gefärbt sind.

Die Sauren Braunerden weichen von den Lockerbraunerden durch einen weitaus geringeren Anstieg der Humifizierungszahl pro Einheit Huminsäure/Fulvosäureverhältnis ab. Die O-Horizonte lassen sich nicht in den Trend der Mineralböden einordnen. Ihre Humifizierungszahlen sind bei hohem Huminsäure/Fulvosäureverhältnis relativ gering.

An den mittels NaOH-Na-Oxalat extrahierten Huminstoffen erfolgte auch die Messung der Absorption im Bereich von 400 bis 700 nm. Die Intensität der Absorption hängt sowohl von der Menge der alkalilöslichen Huminstoffe als auch von ihrer Farbtiefe ab. Auf den Verlauf dieser Kurven wird unter 4.6.4. noch näher eingegangen. Mit Hilfe der Absorptionskurven konnte in den LBE-Profilen zwischen dem Decksediment und dem Solifluktionsschutt eine gute Differenzierung erzielt werden (Abb.6). Dagegen liegen die Absorptionskurven der einzelnen Horizonte der SBE-Profile dicht nebeneinander, so dass eine Differenzierung nicht möglich war.

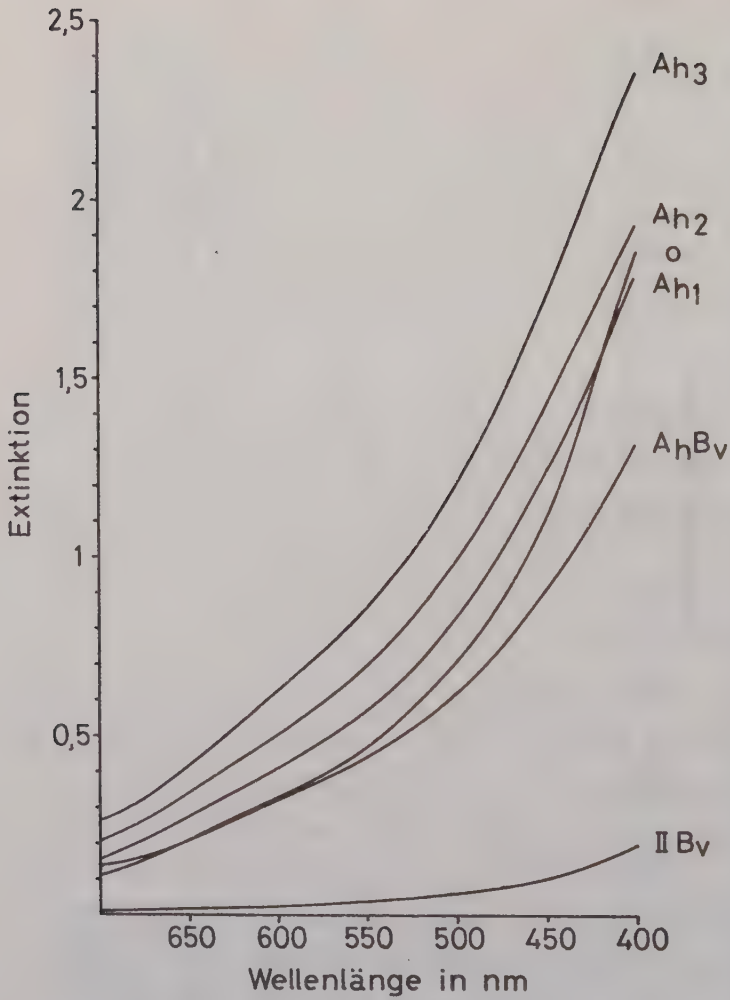


Abb. 6: Die Lichtabsorptionskurven der Huminstoffe im Profil - Humose LBE

4.5. Die Humifizierungsart

Neben der Differenzierung der Huminstoffe mittels Säurefällung wurde die Bestimmung des $Q_{4/6}$ -Wertes durchgeführt. Obwohl bei dieser Bestimmung der störende Einfluss farbloser kohlenstoffhaltiger Nichthuminstoffe wegfällt, erlaubt sie nur eine Klassifizierung der Huminstoffgemische nach den vorherrschenden Stoffgruppen (SCHLICHTING & BLUME 1966):

3 = Überwiegend Grauhuminsäuren

4=5 = Überwiegend Braunhuminsäuren

5 = Überwiegend Fulvosäuren.

Die $Q_{4/6}$ -Werte der untersuchten Böden sind in Tabelle 14 zusammengestellt.

Humose LBE		Taufstein		Typische LBE		Bilstein		Rebgeshain	
Hori- zont	$Q_{4/6}$	Hori- zont	$Q_{4/6}$	Hori- zont	$Q_{4/6}$	Hori- zont	$Q_{4/6}$	Hori- zont	$Q_{4/6}$
O	5,13	O	5,53	O	5,91	O	6,69	A _p	6,52
A _{h1}	4,45	A _h	6,80	A _h	6,53	A _h	6,51	B _v A _h	6,13
A _{h2}	4,20	A _h B _{v1}	6,20	A _h B _v	7,96	A _h B _v	6,00	A _h B _v	7,01
A _{h3}	4,11	A _h B _{v2}	5,90	B _v	8,79	B _v	6,65	IIFC _v	7,40
A _h B _v	4,26	fA _h	4,19	IIB _{v1}	10,00				
IIB _v	5,51	IIB _v	5,60	IIB _{v2}	6,75				

Tabelle 14. Die $Q_{4/6}$ -Werte

Wie aus Tabelle 14 hervorgeht, setzen sich die Huminstoffgemische der Profile Taufstein, Typische LBE, Rebgeshain und Bilstein überwiegend aus Fulvosäuren zusammen; eine Ausnahme bildet der fA_h -Horizont des Profils Taufstein mit einem $Q_{4/6}$ -Wert von 4,19, der auf das Vorherrschen von Braunhuminsäuren hinweist. Braunhuminsäuren müssen diesen Werten zufolge auch in dem Profil der Humosen LBE mit Ausnahme des O- und IIB_V-Horizonts vorherrschen.

Der Tiefenfunktion dieser Werte zufolge nimmt im Bereich der Decksedimenthorizonte der Profile Humose LBE und Taufstein der Anteil hochpolymerer Huminstoffe mit der Tiefe zu, in den Profilen Typische LBE und Rebgeshain dagegen ab. In den Solifluktionsschutthorizonten der Lockerbraunerden ist diese Tiefenfunktion jeweils umgekehrt.

Zwischen den $Q_{4/6}$ -Werten und dem Huminsäure/Fulvosäureverhältnis (Tabelle 8) müssten insofern Beziehungen bestehen, als mit abnehmenden $Q_{4/6}$ -Werten die Huminsäure/Fulvosäureverhältnisse zunehmen. Eindeutig besteht diese Beziehung nur in dem Profil der Humosen LBE und in den Decksedimenthorizonten der Typischen LBE. Ferner sei darauf hingewiesen, dass bei mit den anderen Profilen vergleichbaren Huminsäure/Fulvosäureverhältnissen die $Q_{4/6}$ -Werte des Profils der Humosen LBE wesentlich niedriger sind. Dies gilt z.T. auch für das Profil Taufstein. Vermutlich sind diese Diskrepanzen auf die unterschiedlichen Extraktionsmittel zurückzuführen; das NaOH-Na-Oxalatgemisch dürfte wegen der

komplexbildenden Eigenschaften des Oxalats im stärkeren Masse höhermolekulare Huminstoffe kolloidal lösen als dies bei NaOH als alleinigem Extraktionsmittel der Fall ist. Ferner muss bei der Berechnung des HS/FS-Verhältnisses über die C-Bestimmung mit der Erfassung von Nichthuminstoff-C und bei der Bestimmung der $Q_{4/6}$ -Werte mit der Anwesenheit intensiv gefärbter organischer Substanzen von Nichthuminstoff-Natur (Farbstoffe) gerechnet werden.

4.6. Die Untersuchung der Fulvo-und Huminsäuren

4.6.1. Die Fraktionierung der Fulvosäuren

Die Fulvosäuren als nicht säurefällbare Fraktion der Huminstoffe stellen ein Stoffgemisch dar, dessen Komponenten sehr unterschiedliche physiko-chemische Eigenschaften aufweisen. So neigen die bezüglich des Polymerisationsgrades den Huminsäuren nahestehenden Fulvosäuren zur Koagulation mittels Ba^{2+} (den Apokrensäuren entsprechend), die niederpolymeren Fraktionen (den Krensäuren entsprechend) sind dagegen nicht fällbar (PONOMAREVA 1947, 1949). Ferner diffundieren letztere durch feine Membranen. Bereits TYURIN (1940, zit. b. KONONOVA 1966) trennte Fulvosäuregemische durch Zugabe von Al-Ionen und nachfolgender Koagulation durch Erhöhung des pH-Werts auf 5. Die mit Al koagulierbaren Anteile, von TYURIN als β -Fulvosäuren bezeichnet, sind dunkel, die nicht koagulierbare Fraktion dagegen hell gefärbt

(Fulvosäuren). Das Prinzip des Trennungsganges wurde ebenfalls von ROCHUS (1965) zur Trennung und Gewinnung von Huminstoffen angewendet.

Bei der Huminstoff-Extraktion mittels NaOH werden auch C-haltige Nichthuminstoffe erfasst, die bei der Trennung des Gemisches durch Säurefällung der Huminsäuren in die Fulvosäurefraktion übergehen, sofern die C-haltigen Nichthuminstoffe nicht durch Elution mit Wasser vor der NaOH-Extraktion entfernt werden. Zwecks weiterer Differenzierung der Fulvosäurefraktionen erfolgte die Trennung mittels Al-Hydroxidfällung in Anlehnung an ROCHUS (1965), wobei der nicht koagulierbare Anteil neben C-haltigen Nichthuminstoffen möglicherweise auch niederpolymeren Fulvosäuren bzw. Depolymerisationsprodukte der Huminstoffe enthält. Diese Fraktionierung wurde auch an den wasserlöslichen organischen Substanzen durchgeführt. Die Methodik ist unter 2.2. angegeben, die Analysenwerte sind in Tabelle 15 zusammengestellt.

Erwartungsgemäß ist der Anteil der nicht koagulierbaren Fraktion im H_2O -Extrakt hoch, da durch dieses Extraktionsmittel die wasserlöslichen, d.h. die niederpolymeren Huminstoffe neben den wasserlöslichen Nichthuminstoffen erfasst werden; ordnet man den koagulierbaren Anteil näherungsweise den Fulvosäuren zu, so beträgt ihr Anteil an dieser Fraktion zwischen 29 und 79%. Im Bereich der Decksedimenthorizonte des Profils Typische LBE nimmt der koagulierbare Anteil mit der Tiefe zu. Die Ursache dafür ist die laufende Nachlieferung nicht fällbarer orga-

Profil	Horizont	F ₀₁	F ₁	F _{2a}	F _{2b}	F ₃	F ₄
Humose LBE	0		75,55	64,63	59,16	49,77	49,14
	A _{h1}		93,28	77,31	59,73	75,97	52,75
	A _{h2}		90,79	75,06	64,79	81,66	62,14
	A _{h3}		94,04	74,23	65,37	70,55	57,85
	A _{hB_v}		90,85	72,55	67,73	71,52	55,00
	IIB _v		85,17	69,69	65,00	85,71	63,57
LBE Taufstein	0		70,00	66,32	59,51	46,42	46,16
	A _h		98,78	81,74	66,02	71,82	49,98
	A _{hB_{v1}}		97,74	85,01	77,98	83,58	47,37
	A _{hB_{v2}}		98,43	83,65	77,76	85,00	64,72
	fA _h		89,85	87,02	82,92	89,00	72,75
	IIB _v		82,17	81,98	76,62	88,70	83,33
Typische LBE	0	65,79	66,50	66,20	59,56	48,72	48,66
	A _h	37,48	91,04	77,20	54,55	66,63	58,18
	A _{hB_v}	41,18	93,70	85,44	71,23	74,84	68,80
	B _v	49,21	89,39	76,96	72,13	82,73	57,15
	IIB _{v1}	28,89	85,72	72,38	65,92	84,10	55,09
	IIB _{v2}	33,34	91,03	82,86	75,57	86,37	72,09
Bilstein	0	46,42	85,72	72,73	56,67	69,70	46,66
	A _h	52,84	89,00	73,50	55,18	73,63	60,61
	A _{hB_v}	52,16	92,26	77,97	70,44	83,34	65,39
	B _v	37,21	94,70	84,87	77,32	90,34	70,58
Rebgeshain	A _p	79,42	90,15	73,43	65,21	88,57	72,09
	B _v A _h	61,30	93,43	79,50	61,16	81,99	88,29
	A _{hB_v}	60,72	96,01	80,72	76,09	90,25	90,67
	IIfC _v	53,34	93,86	77,31	69,05	87,04	89,34

Tabelle 15. Der mit Al (OH)₃-Gel koagulierbare Anteil der Fulvosäuren (in % der jeweiligen Fraktion)

nischer Substanzen aus dem Auflagehorizont in den A_h -Horizont. Dies geht aus den absoluten C_{H_2O} -Gehalten hervor, die mit der Tiefe abnehmen. Die gleiche Tendenz ist auch in den Solifluktionsschutthorizonten zu erkennen. Dagegen zeichnet sich in den Sauren Braunerden die umgekehrte Tendenz ab; die mit Al-Hydroxid fällbaren Anteile nehmen mit der Tiefe ab. Dies dürfte auf eine höhere mikrobielle Aktivität (schnelle Mineralisierung niederpolymerer Verbindungen) hinweisen, ganz abgesehen von der Tatsache, dass diese Profile keinen oder nur einen geringmächtigen O-Horizont aufweisen. Gegen diese Annahme spricht allerdings der Befund, dass der Anteil des C_{H_2O} am Gesamt-C in den SBE höher ist als in der Typischen LBE.

Erwartungsgemäß sind die koagulierbaren Anteile der säureextrahierbaren Huminstoffe höher als die der H_2O -löslichen Substanzen, da bei ersteren auch höherpolymere Fulvosäuren in Lösung gebracht werden. Dies geht auch aus einer Gegenüberstellung der absoluten C-Gehalte bei der Fraktion hervor. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch die Vorbehandlung mit Wasser und Benzol-Äthanol schon die H_2O -löslichen Anteile weitgehend entfernt werden, so dass der koagulierbare Anteil, sieht man von den O-Horizonten ab, sich zwischen 82 und 99 % bewegt. Die geringeren Anteile koagulierbarer organischer Substanzen in den O-Horizonten dürften auf einer stärkeren Freisetzung von Nichthuminstoffen aus den Bestandsabfällen in dem sauren Extraktionsmittel beruhen.

Es fällt auf, dass in der säurelöslichen Fraktion des NaOH-Extraktes (F_{2a} und F_{2b}) der Anteil koagulierbarer Huminstoffe geringer ist als in dem H_2SO_4 -Extrakt. Vermutlich werden Nicht-huminstoffe von Huminsäurekomplexen sehr intensiv gebunden bzw. eingeschlossen und erst durch die Huminsäurepeptisation mittels NaOH freigesetzt. Ferner muss mit einer Zerstörung von Bestandsabfällen bzw. Wurzelrückständen im alkalischen Milieu u.U. sogar mit der Depolymerisation instabiler Fulvosäuren gerechnet werden. Diese Vermutungen werden durch die Feststellung gestützt, dass der mit Al-Hydroxid nicht fällbare Anteil bei Wiederholung der NaOH-Extraktion (2. NaOH-Extrakt bzw. F_{2b}) zu-, und nicht wie zu erwarten - abnimmt. Weiterhin ist nicht ausgeschlossen, dass die fester gebundenen Huminstoffe gegenüber den leichter extrahierbaren Huminstoffen einen niedrigeren Polymerisationsgrad aufweisen können (LEIN 1940, zit. b. KHAN & ZIECHMANN 1968, KONONOVA 1958).

Die Extrakte der auf die NaOH-Behandlung folgenden H_2SO_4 -Behandlung weisen dagegen höhere Anteile an mittels Al-Hydroxid fällbarer Fulvosäuren auf, abgesehen von den O-Horizonten der Lockerbraunerden. Diese Erhöhung im Bereich der Mineralbodenhorizonte kennzeichnet die sehr fest über Sesquioxide bzw. Ca-gebundenen Fulvosäuren, die erst im Verlauf der Säureextraktion freigesetzt werden. Besonders ausgeprägt ist diese Erscheinung in dem Profil Rebgeshain. Hier äussert sich diese intensive Bindung auch in der F_4 -Fraktion, indem auch diese vergleichsweise hohe koagulierbare Anteile enthält. Diese Anteile müssen fest an Huminsäuren gebunden und erst nach Säurebehandlung mittels NaOH peptisierbar sein.

4.6.2. Die C-Gehalte der Huminsäuren

Zur weiteren Charakterisierung der Huminsäuren wird deren Elementarzusammensetzung herangezogen. Nach SCHEFFER & SCHACHT-SCHABEL (1970), SCHEFFER & ULRICH (1960) sowie SCHEFFER & SCHLÜTER (1959) bewegen sich die C-Gehalte der Huminsäuren in folgenden Größenordnungen:

Braunhuminsäuren . 50-60 %

Grauhuminsäuren 58-62 %.

Die C-Gehalte der im Rahmen vorliegender Arbeit untersuchten Huminsäuren sind in Tabelle 16 zusammengestellt. Diesen Gehalten zufolge handelt es sich um Braunhuminsäuren bzw. um Überwiegend aus Braunhuminsäuren zusammengesetzten Gemischen.

Humose LBE		LBE Taufstein	Typische LBE	Bilstein	Rebgeshain
A _{h2}	52,39	A _h B _v 52,40	A _h B _v 55,92	A _h B _v 53,88	A _h B _v 52,00
A _{h3}	53,68	fA _h 56,31	B _v 54,34	B _v 52,36	IIfC _v 52,88
IIB _v	50,30	IIB _v 50,24	IIB _{v1} 51,63		
			IIB _{v2} 50,00		

Tabelle 16. Die C-Gehalte der untersuchten Huminsäuren

(in % bezogen auf wasser- und aschefreie Huminsäuren)

Die Huminsäuren der Solifluktionsschutthorizonte der Lockerbraunerden lassen sich durch niedrige C-Gehalte (50,0-51,6%) von denen der Decksedimenthorizonte (52,0-55,9 %) unterscheiden. Die Huminsäuren des fA_h -Horizonts des Profils Taufstein weisen den höchsten C-Gehalt auf und nehmen damit eine Sonderstellung ein. Abgesehen von diesen Besonderheiten bewegen sich die C-Gehalte in engen Grenzen und zwischen den Lockerbraunerden und den Sauren Braunerden sind keine gesicherten Unterscheidungen zu treffen.

Zwischen Bodentyp, Humusform und C-Gehalt der Huminsäuren müssen insofern Beziehungen bestehen, als in sauren Böden mit den Humusformen Rohhumus oder Moder relativ geringe, in Böden mit der Humusform Mull relativ hohe Gehalte zu erwarten sind. Wie weit jedoch die Gehalte schwanken, geht aus Tabelle 17 hervor. Aufgrund dieser grossen Schwankungsbreite, die die C-Gehalte der Braun- und Grauhuminsäuren einschliesst, kann nicht auf einen bestimmten Bodentyp geschlossen werden.

C-Gehalt der HS	Horizont	Autor	
58,3-61,2	A	NEHRING (1955)	
58,2-60,2	B	NEHRING (1955)	
56,72	B	SCHNITZER (1965)	
58,11	B		
	(illuvial)	KONONOVA (1966)	
56,67	-	NATKINA	} zit.b. KONONOVA (1966)
52,39	-	TISTSCHENKO & RYDALEWSKAYA	

Tabelle 17. Die in der Literatur aufgeführten C-Gehalte von Podsol-Huminsäuren

Zwischen den C-Gehalten der Huminsäuren und deren $Q_{4/6}$ -Werten gibt es keine statistisch gesicherten Beziehungen; es besteht jedoch der Trend der mit abnehmenden C-Gehalten zunehmenden $Q_{4/6}$ -Werte (Abb.7). Auch hier ist die Besonderheit zu verzeichnen, dass Huminsäuren des Profils Humose LBE bei mit anderen Proben vergleichbaren C-Gehalten niedrigere $Q_{4/6}$ -Werte aufweisen.

4.6.3. Die $Q_{4/6}$ -Werte der Huminsäuren

Entsprechend der Charakterisierung von Huminstoffgemischen mit Hilfe der Lichtabsorption ist nach dem gleichen Verfahren auch die Kennzeichnung von kolloidalen Huminsäurelösungen (Na-Humaten) möglich. Nach den Untersuchungen von WELTE (1956) und HOFFMANN (1958, zit. b. FIEDLER 1965) weisen Grauhuminsäuren einen $Q_{4/6}$ -Wert von $< 3,0$, Braunhuminsäuren von $< 4,2$ bzw. 5 auf; die $Q_{4/6}$ -Werte der Braun- und Grauhuminsäuregemische ordnen sich zwischen beiden Werten ein, so dass näherungsweise die Anteile der Mischungspartner ermittelt werden können.

Die $Q_{4/6}$ -Werte der Huminsäuren ausgewählter Horizonte liegen zwischen 3,69 und 5,52 (Tabelle 18). Somit ist der Anteil der Braunhuminsäuren in den Huminsäurefraktionen grösser als 50 %. Dieses Ergebnis war zu erwarten, da die Boden-, Vegetations- und Klimabedingungen der Standorte (basenarme Böden, starke Durch-

feuchtung) nur die Bildung niederpolymerer Huminsäuren zulassen (KONONOVA und Mitarb 1964). Zu den gleichen Ergebnissen gelangten auch SPRINGER (1938) sowie SCHEFFER & SCHLÜTER (1959).

Humose LBE		Taufstein		Typische LBE		Bilstein		Rebgeshain	
Hori- zont	Q _{4/6}	Hori- zont	Q _{4/6}	Hori- zont	Q _{4/6}	Hori- zont	Q _{4/6}	Hori- zont	Q _{4/6}
A _{h3}	3,83	A _{hB_v}	4,56	A _{hB_v}	4,76	A _{hB_v}	4,58	A _{hB_v}	4,69
A _{h3}	3,74	fA _h	3,69	B _v	4,95	B _v	4,69	IIfC _v	4,87
IIB _v	4,49	IIB _v	4,11	IIB _{v1}	5,52				
				IIB _{v2}	5,00				

Tabelle 18. Die Q_{4/6}-Werte der Huminsäuren ausgewählter Horizonte

Der Anteil der Brahuminsäuren weist in den verschiedenen Profilen sowie in den einzelnen Horizonten eines Profils grosse Unterschiede auf. Hervorzuheben ist der gegenüber den Decksedimenthorizonten höhere Anteil an Brahuminsäuren der aus Solifluktuationsmaterial gebildeten Horizonte in den Profilen Humose LBE und Typische LBE sowie der relativ geringe Brahuminsäureanteil in dem fA_h-Horizont des Profils Taufstein. Brahuminsäureanteile in der Grössenordnung des zuletzt genannten Horizonts (etwa 50 %) weisen auch die rezenten A_h-Horizonte des Profils Humose LBE auf. Die beiden Horizonte des Profils Rebgeshain weisen vergleichbare Q_{4/6}-Werte wie die anderen Waldbodenprofile auf.

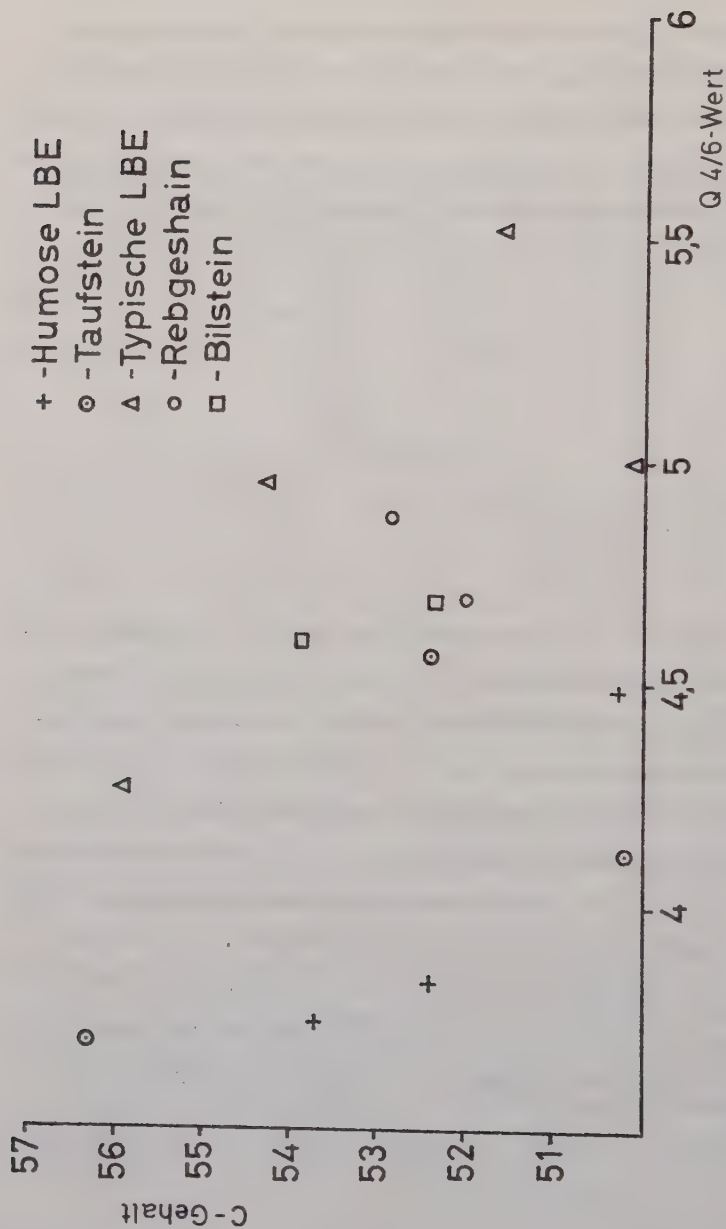


Abb. 7: Die Beziehung zwischen dem C-Gehalt und dem Q 4/6-Wert der Huminsäuren

Der Kurvenverlauf der $Q_{4/6}$ -Werte der Huminsäuren innerhalb der einzelnen Profile entspricht in der Tendenz dem der $Q_{4/6}$ -Werte der Huminstoffe (NaOH + Na-Oxalateextrakt) (Abb. 5, Abb. 3).

Nach KONONOVA und Mitarb. (1964) haben die Huminsäuren der verschiedenen Bodentypen charakteristische $Q_{4/6}$ -Werte. Da aber die deutschen und russischen Bezeichnungen der Bodentypen z.T. voneinander abweichen und für die deutschen Bodentypen vergleichbare Ergebnisse fehlen, kann hier nicht von den $Q_{4/6}$ -Werten der Huminsäuren auf einen bestimmten Bodentyp geschlossen werden.

4.6.4. Die Lichtabsorptionskurven der Huminsäuren

Eine gute Charakterisierung der Huminstoffe ermöglicht die Aufnahme der Absorptionsspektren im Bereich von 400 bis 700 nm, da die Lichtabsorption direkt von ihrer chemischen Struktur abhängig ist. Sie steigt mit der Zunahme der optischen Dichte, der Teilchengröße, der Vernetzung der Ringsysteme und des Polymerisationsgrades. Der Anstieg ist besonders ausgeprägt im langwelligen Bereich (KONONOVA 1966, KLEIST & MÜCKE 1966). Die unterschiedliche Lichtabsorption der Na-Humatlösungen gleicher Konzentration beruht nach KONONOVA (1966) auf dem Verhältnis von Kohlenstoff des aromatischen Netztes zu Kohlenstoff der Seitenketten. Sie nimmt mit dem Vernetzungsgrad, d.h. mit der Zunahme des aromatisch gebundenen Kohlenstoffs, besonders im langwelligen Bereich, stark zu.

Die Messung der Absorption erfolgte sowohl an mit NaOH-Na-Oxalat extrahierten Huminstoffgemischen als auch an den Huminsäuren. Aufgrund der unterschiedlichen C-Konzentrationen handelt es sich bei den erstgenannten nur um die Feststellung des Kurvenverlaufes, nicht dagegen um den Vergleich ihrer Absorptionsintensität. Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 zusammengestellt (Zur Methode vgl. 2.2.). Die Abbildungen gelten sowohl für den Gesamtextrakt als auch für die Huminsäurefraktion folgender Horizonte repräsentativ:

A_{hV} -Horizont des Profils Bilstein als Beispiel für die Sauren Braunerden, A_{hV} und fA_h -Horizont des Profils Taufstein als Beispiel für die Lockerbraunerden. Auf die Darstellung der übrigen Kurven wurde wegen ihres mehr oder weniger gleichen Verlaufs verzichtet (Abb. 8 und 9).

Das Huminstoffgemisch des A_{hV} -Horizonts der Sauren Braunerde von Bilstein hat einen etwas stärkeren Kurvenanstieg im kurzwelligen Bereich als das des A_{hV} -Horizonts des Profils Taufstein. Beiden Horizonten gemeinsam sind charakteristische Maxima im Bereich von 450, 570 und 615 nm. Diese Maxima, auf die unten noch näher eingegangen werden soll, sind in dem Huminstoffgemisch des fA_h -Horizonts des Profils Taufstein nur angedeutet. Dagegen ist der Kurvenanstieg niedriger als in den beiden anderen Horizonten.

Die Absorptionskurven der Huminsäuren gestatten aufgrund der gleichen C-Gehalte einen direkten Vergleich. Die Absorption der aus den Profilen Typische LBE und Rebgeshain (SBE) gewonnenen

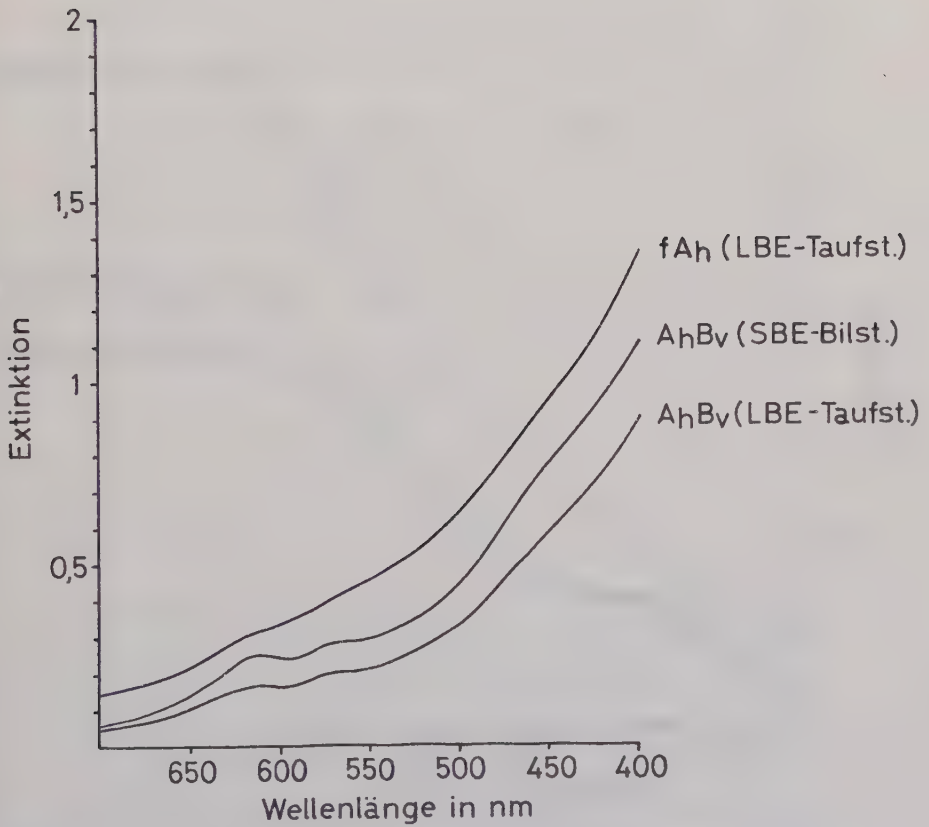


Abb. 8: Die Lichtabsorptionskurven der Huminstoffe

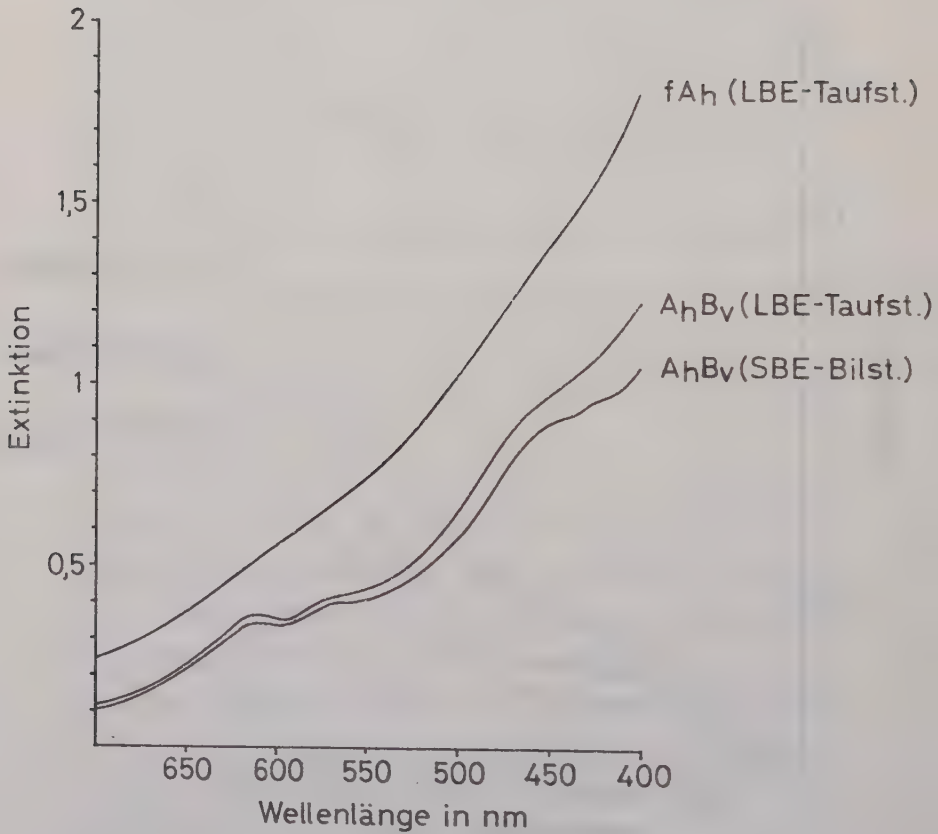


Abb. 9: Die Lichtabsorptionskurven der Huminsäuren

Huminsäuren ist viel schwächer als die der übrigen Profile (LBE-Profil Taufstein und Humose LBE > Bilstein), d.h. die erstgenannten Huminsäuren haben einen niedrigeren Vernetzungsgrad (Tabelle 19).

Die oben angeführten Maxima sind sehr ausgeprägt bei den Huminsäuren der Sauren Braunerden, der Typischen LBE und im $A_h B_v$ -Horizont des Profils Taufstein. Nach dem Auftreten und Fehlen der Maxima der Absorptionskurven können die Huminsäuren der ausgewählten Horizonte wie folgt geordnet werden:

Humose LBE	Taufstein	Typische LBE	Bilstein	Rebgeshain
A_{h2}	- $A_h B_v$	P $A_h B_v$	P $A_h B_v$	P $A_h B_v$
A_{h3}	- fA_h	- B_v	P B_v	P $IIFC_v$ -, P
IIB_v	- IIB_v	- IIB_{v1}	P	
		IIB_{v2}	P	

P = mit Maxima, - = ohne Maxima

Diese erstmals von KUMADA (1965) beschriebenen Maxima werden von diesem Autor dem P_g -Huminsäuretyp zugeordnet, das ist ein Huminsäuretyp mit einer grünen Farbkomponente. Diese Farbkomponente konnte von SATO & KUMADA (1967) isoliert und als ein Derivat der 4,9-Dehydroxyperylene-3,10-Chinon identifiziert werden. Diese Substanz soll an das Auftreten pilzähnlicher Sklerotien gebunden sein. Die P_g -Huminsäuren treten nach obigen Autoren sowie nach KUMADA und Mitarb. (1967) und ORLOV (1968) in den Huminstoffen saurer Böden auf, nicht dagegen in Schwarzerden und in Streu-

Pro- fil	Hori- zont	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725
Humose LBF	A _{h2}	1,64	1,44	1,28	1,11	0,94	0,80	0,68	0,59	0,50	0,44	0,34	0,27	0,22	0,18
	A _{h3}	1,73	1,52	1,35	1,18	1,00	0,85	0,73	0,63	0,54	0,46	0,36	0,29	0,24	0,20
	IIB _v	1,28	1,08	0,93	0,79	0,64	0,53	0,44	0,37	0,31	0,26	0,20	0,15	0,12	0,10
LBF Tauffstein	A _{h^Bv}	1,24	1,07	0,98	0,86	0,65	0,52	0,44	0,41	0,35	0,33	0,23	0,16	0,12	0,09
	FA _h	1,80	1,57	1,38	1,21	1,02	0,87	0,74	0,65	0,55	0,47	0,37	0,30	0,25	0,20
	IIB _v	1,27	1,04	0,88	0,76	0,61	0,51	0,43	0,36	0,31	0,26	0,21	0,16	0,13	0,11
Typische LBF	A _{h^Bv}	0,65	0,55	0,49	0,40	0,31	0,26	0,22	0,20	0,18	0,16	0,11	0,07	0,05	0,04
	B _v	0,72	0,60	0,52	0,43	0,32	0,25	0,21	0,20	0,17	0,15	0,10	0,06	0,04	0,03
	IIB _{v1}	0,53	0,44	0,39	0,32	0,23	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02
	IIB _{v2}	0,87	0,76	0,68	0,57	0,44	0,34	0,39	0,36	0,23	0,21	0,15	0,10	0,08	0,06
Bil- stein	A _{h^Bv}	1,05	0,95	0,90	0,76	0,58	0,47	0,41	0,38	0,33	0,31	0,21	0,14	0,10	0,07
	B _v	1,06	0,97	0,95	0,79	0,58	0,44	0,37	0,36	0,32	0,31	0,19	0,12	0,08	0,05
Rebges- stein	A _{h^Bv}	0,96	0,82	0,77	0,65	0,51	0,41	0,34	0,32	0,27	0,25	0,18	0,12	0,09	0,06
	IIFC _v	0,81	0,67	0,56	0,45	0,35	0,28	0,23	0,20	0,17	0,15	0,11	0,08	0,06	0,04

Tabelle 19. Die optische Dichte der Huminsäuren

(68 mg C/Liter Na-Humatlösung bei 1 cm Schichtdicke)
(Die Huminsäuren wurden in 0,01 n NaOH gelöst)

horizonten .Ferner soll der Anteil dieses Huminsäuretyps mit zunehmender Vernässung zu-und mit intensiver Bodenkultivierung abnehmen.

Hinsichtlich des Fehlens in Streuhorizonten bestehen insofern Übereinstimmungen als in den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten O-Horizonten dieser Typ ebenfalls nicht nachzuweisen war.

Das Auftreten der P_9 -Huminsäuren mit dem charakteristischen Maximum im Bereich von 450 nm erschwert die Aussage mit Hilfe des $Q_{4/6}$ -Wertes hinsichtlich der Huminstoffzusammensetzung bzw. der Differenzierung der Huminsäurefraktion in Braun-und Grauhuminsäuren, da sich dieses Maximum meist über einen grösseren Wellenlängenbereich (420-490 nm) erstreckt (ORLOV 1968).

4.7. Organo-mineralische Kolloide und Verbindungen ¹⁾

Unter den organo-mineralischen Komplexen werden Verbindungen zwischen organischen Substanzen und anorganischen Bodenbestandteilen, insbesondere Tonminerale und Hydroxide des Eisens und Aluminiums, verstanden. Auch die Komplexe zwischen organischen Molekülen und anorganischen Kationen zählen im weiteren Sinne zu den organo-mineralischen Komplexen.

1) im folgenden als Komplexe bezeichnet

ALEXANDROVA (1960 b) unterscheidet organo-mineralische Verbindungen von organo-mineralischen Kolloiden. Für erstere sind Formeln chemischer Verbindungen charakteristisch, letztere sind aufzufassen als ein Komplex von höchst dispersen Tonmineralen, Humustoffen und deren organo-mineralischen Verbindungen. Über die Verbindungen zwischen der organischen Substanz und anorganischen Bestandteilen des Bodens berichten auch MORTLAND (1970), BEUTSLPACHER (1955), BRYDON & SOWDEN (1959), EVANS & RUSSELL (1959), ALEXANDROVA (1960 b, 1967), MONNIER und Mitarb. (1962), ALEXANDROVA und Mitarb. (1964), MONNIER & TURC (1964), GREENLAND & FORD (1964), SCHNITZER & SKINNER (1964), GREENLAND (1965 a, b, 1971), MAC KEAGUE (1968), SCHNITZER (1969) und FORD und Mitarb. (1969).

Die Frage nach der Natur der organo-mineralischen Verbindungen wird immer wieder gestellt. Während in Modellversuchen manche Gesetzmässigkeiten erkannt werden konnten, sind die Kenntnisse über organo-mineralische Komplexe im Boden noch immer unbefriedigend. Hierzu bedarf es einer Arbeitsmethode, die eine schonende und vollständige Trennung der organo-mineralischen Komplexe ermöglicht. GREENLAND & FORD (1964), MONNIER und Mitarb. (1962) und MONNIER & TURC (1964) trennen die spezifisch leichten freien organischen Substanzen und die spezifisch schwereren organo-mineralischen Verbindungen voneinander in Flüssigkeiten, deren Dichte zwischen 1,8 und 2,0 liegt (z.B. Äthanol-Bromoform). Durch Zentrifugation des Feinbodens in einer schweren Flüssigkeit kann eine spezifisch leichte Fraktion, im wesentlichen aus schwach humifiziertem organischem

Material zusammengesetzt, und eine spezifisch schwere Fraktion, welche den mineralischen Teil des Bodens und die an diesen gebundenen organischen Stoffe umfasst, abgesondert werden.

Nach TYURIN erfolgt die Trennung mit einer NaCl-Lösung (ATKINSON & TURNER 1944) und ALEXANDROVA (1960) verwendet zur Extraktion 0,1 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Lösung (bei pH 8,0-8,5), die alle freien Huminstoffe und Huminstoff- R_2O_3 -Gele (ohne Zerstörung) aber nicht freies R_2O_3 lösen soll. Diese Annahme wird von KONONOVA (1967) und TITOVA (1962) bezweifelt.

Hierzu führen SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1970, S. 88/89) aus:
 "Chemische Dispergierungsmethoden liefern keine befriedigenden Ergebnisse, weil die organo-mineralischen Verbindungen teilweise zerstört werden. So werden durch Extraktion des Bodens mit NaCl-Lösung (Methode TYURIN) die Ca-Brücken der organo-mineralischen Verbindungen teilweise zerstört und durch verdünnte Alkalilauge organische Stoffe in Lösung gebracht, die an Al- und Fe-Oxide gebunden sind."

Da mit den herkömmlichen Untersuchungsmethoden die erforderlichen Aussagen über die Natur der organo-mineralischen Komplexe nicht zu gewinnen sind, wurde versucht, durch verschiedene Behandlungen darüber Aufschluss zu erhalten (Schema 1). Der Boden wurde mittels NaOH, $\text{Na}_2\text{P}_4\text{O}_7$ extrahiert. In den Extrakten wurde der durch Aussalzen (mittels Na_2SO_4) geflockte Teil der organo-mineralischen Komplexe als organo-mineralische Kolloide und der nicht geflockte Teil als organo-mineralische

Verbindungen bezeichnet. Obwohl diese Bezeichnungen nicht exakt sind, wurden sie zum besseren Verständnis beibehalten.

Ferner wurde der Boden in destilliertem Wasser dispergiert, fraktioniert und die Verteilung des Kohlenstoffs in den 3 Fraktionen (Ton, Schluff und Sand) untersucht.

4.7.1. Die Bestimmung der C-Gehalte

a) NaOH-Behandlung

Der C-Gehalt des Extraktes: Der NaOH-Extrakt enthält neben freien Huminstoffen auch organo-mineralische Verbindungen und u.U. auch an anorganische Kolloide gebundene Huminstoffe. Die organo-mineralischen Kolloide in dem Extrakt wurden mittels Na_2SO_4 entfernt. Die C-Gehalte der untersuchten Böden sind in Tabelle 22 zusammengestellt.

Im Kapitel "Fraktionierung der organischen Substanz" wurde auf die Extraktion mit NaOH näher eingegangen und vor allem auf den hohen Anteil des NaOH-löslichen Kohlenstoffs am Gesamt-C der Huminstoffe hingewiesen (hoher Anteil freier und an mobile Sesquioxide gebundene Huminstoffe). Die Vermutung, dass trotz hoher NaOH-Löslichkeit der Anteil der freien, mobilen Huminstoffe nicht so hoch ist, wird gestützt auf die hohen Anteile der amorphen anorganischen Substanzen (vermutlich Allophan) und Fe- und Al-Oxide bzw. -Hydroxide, da diese Bodenbe-

standteile mit ihren aktiven Oberflächen, die im sauren Bereich (unter pH 5-6) einen positiven Ladungsüberschuss besitzen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1970), den Huminstoffen grosse Bindungsmöglichkeiten bieten. Somit wird die hohe Löslichkeit der Huminstoffe im alkalischen Bereich durch die negative Ladung der oben genannten anorganischen Bodenteilchen oberhalb ihrer isoelektrischen Punkte hervorgerufen.

Eine Auftrennung der Huminstoffe des Extraktes in freie und an anorganische Bodenbestandteile gebundene Huminstoffe ist nicht möglich.

Der C-Gehalt der organo-mineralischen Kolloide: Der Kohlenstoff, der durch Aussalzen (Na_2SO_4) gewonnen wurde, stellt nur einen Teil des an anorganischen Bestandteilen gebundenen Kohlenstoffs dar. Denn einerseits werden an anorganische Kolloide locker gebundene Huminstoffe durch Erhöhung der Na-Konzentration von den Kolloiden abgespalten (GÄTKE 1961), andererseits bleibt ein Teil als nicht extrahierbar im Rückstand. Die durch Aussalzen gewonnene organische Substanz dürfte an anorganischen Kolloiden sorbiert sein und mit diesen zusammen bei Erhöhung der Salzkonzentration ausflocken. Es ist nicht auszuschliessen, dass dabei auch nicht an anorganische Kolloide gebundene Huminstoffe koagulieren. Es handelt sich hierbei um die Rotteprodukte (GÄTKE 1961) u.U. auch um hochpolymere Huminstoffe. Die Koagulation derartiger Stoffe neben den an anorganisch gebundenen Huminstoffe erklärt PREUSSE (1969) wie folgt: Für die Pepti-

sation und Koagulation ist die Zahl hydrophiler, an den Seitenketten lokalisierter funktioneller Gruppen entscheidend. Diese Gruppen können durch komplexierte Kationen blockiert sein. Unter diesen Bedingungen koagulieren auch Huminstoffe geringeren Vernetzungsgrades.

GÄTKE (1961) konnte mittels Farbkoeffizienten keinen qualitativen Unterschied zwischen den freien und an den anorganischen Kolloiden gebundenen Huminstoffen feststellen. Die C-Gehalte der organo-mineralischen Kolloide sind in Tabelle 20 zusammengestellt.

Profil	Horizont	mgC/100 mg org.-miner. Kolloide	$\frac{\text{mg } C_{\text{omK}}}{C_{t1}} \times 100$	$\frac{\text{mg } C_{\text{omK}}}{100 \text{ mg FB}}$
Humose	A _{h2}	5,22	5,48	0,4932
LBE	A _{h3}	5,12	7,78	0,5760
	IIB _v	1,69	0,47	0,0036
Taus- stein	A _{hB_v}	3,74	4,59	0,2307
	fA _h	3,53	10,17	0,5459
	IIB _v	2,21	0,47	0,0050
Typische	A _{hB_v}	3,18	3,76	0,2184
LBE	B _v	3,14	5,90	0,1802
	IIB _{v2}	2,28	0,50	0,0045
Bil- stein	A _{hB_v}	4,76	7,64	0,2751
Rebges-	A _{hB_v}	3,51	2,47	0,0445
hain	IIfC _v	3,35	1,95	0,0361

Tabelle 20. Der C-Gehalt der organo-mineralischen Kolloide

Die C-Gehalte der organo-mineralischen Kolloide (C_{omK}) liegen in den Decksedimenthorizonten der LBE und dem A_hB_v -Horizont des Profils Bilstein höher als im Profil Rebgeshain und den Solifluktionsschutthorizonten der Lockerbraunerden (Tabelle 20).

Aus einem Vergleich der C-Gehalte des Feinbodens (C_{t1}) und der C_{omK} -Gehalte geht hervor, dass der C_{omK} -Gehalt des A_{h2} -Horizonts und A_{h3} -Horizonts der Humosen LBE, des A_hB_v -Horizonts des Profils Taufstein und des A_hB_v -Horizonts der Typischen LBE niedriger liegt als der C_{t1} . Daraus folgt, dass die Bindung der organischen Radikale an die anorganischen Komponenten sehr locker ist und bereits bei der NaOH-Extraktion gelöst wurde (hohe NaOH-Löslichkeit). Ferner muss die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass neben organo-mineralischen Kolloiden auch relativ hohe Anteile mineralischer Feinkolloide peptisiert und mittels Na-Sulfat koaguliert werden (hohe Peptisierbarkeit des Allophans im alkalischen Bereich). In beiden Fällen wird der C_{omK} -Gehalt gegenüber dem C_{t1} -Gehalt erniedrigt. Der Anteil der ausgeflockten organischen Substanz an der gesamtorganischen Substanz des Feinbodens (C_{omK} in % des C_{t1} -Gehaltes) bewegt sich zwischen 0,5 und 10 % (Tabelle 20); er liegt in den Decksedimenthorizonten der LBE und im A_hB_v -Horizont des Profils Bilstein höher als in den Horizonten des Profils Rebgeshain und in den Solifluktionsschutthorizonten der Lockerbraunerden. Die Solifluktionsschutthorizonte weisen sehr niedrige Prozentgehalte auf. Während der C-Gehalt der organo-

mineralischen Kolloide in den Profilen mit der Tiefe abnimmt, ist der Prozentanteil dieses Kohlenstoffs an dem Gesamt-C in den oberen Horizonten der Lockerbraunerden niedriger als der der unmittelbar darunterliegenden Horizonte. Daraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass in den letztgenannten Horizonten der Anteil der an anorganischen Kolloiden gebundenen organischen Substanzen an der gesamtorganischen Substanz höher ist als in den erstgenannten. Wie schon erwähnt wurde, stellt die ausgeflockte organische Substanz nicht die Gesamtheit der an anorganischen Kolloiden gebundenen organischen Substanz dar und seine Menge wird von 3 Faktoren bestimmt:

- a) von der fest an anorganische Bodenkolloide gebundenen organischen Substanz
- b) von dem Anteil der Rotteprodukte
- c) von der Freisetzung der an anorganische Bodenkolloide gebundenen organischen Substanz.

Die Prozentzahlen dürften jedoch eine Orientierung hinsichtlich der an anorganischen Kolloiden fest gebundenen organischen Substanz geben.

Ein grosser Teil der organo-mineralischen Komplexe dürfte als nicht extrahierbar im Bodenrückstand verbleiben, der als weitere Komponente jedoch auch noch Pflanzen- und vor allem Wurzelreste enthält.

b) Na₄P₂O₇-Behandlung

C-Gehalt des Extraktes: Nach ALEXANDROVA (1958, 1960 a,b) werden in 0,1 m Na₄P₂O₇-Lösung (pH 8-8,5) freie sowie an anorganische Bodenbestandteile locker gebundene Huminstoffe und die Huminstoff-Sesquioxidverbindungen gelöst. Der Gehalt der mit Na₄P₂O₇ extrahierbaren organischen Substanz der A_hB_v-Horizonte von 3 verschiedenen Profilen ist in Tabelle 26 und 27 angegeben (vor und nach Na-Sulfatzusatz). Den höchsten Gehalt im Na₄P₂O₇-Extrakt weist die Humose LBE und den niedrigsten das Profil Rebgeshain auf. Mittels Na₄P₂O₇ wird in allen 3 Horizonten der 3 Profile weniger Kohlenstoff extrahiert als mit 0,1 n NaOH. Der Anteil des mit Na₄P₂O₇ extrahierbaren Kohlenstoffs an dem mit NaOH extrahierbaren Kohlenstoffs beträgt im LBE-Horizont 93,8 %, im A_hB_v-Horizont des Profils Bilstein 79,8 % und im A_hB_v-Horizont des Profils Rebgeshain 65,2 %. In diesen basenungesättigten Böden kommen die Sesquioxide als entscheidende Komponente für eine Bindung der Huminstoffe an anorganische Bodenbestandteile bzw. für die Koagulation in Frage. Diese werden im alkalischen Milieu hydroxyliert und von den Huminstoffen abgetrennt, in dem schwach alkalischen Milieu bleiben diese Verbindungen mehr oder weniger erhalten und die Extrahierbarkeit der Huminstoffe richtet sich nach den nicht blockierten und in dem Na-gesättigten Zustand überführbaren funktionellen Gruppen.

Der Anteil des Na₄P₂O₇-löslichen Kohlenstoffs am Gesamt-C be-

trägt in dem A_{hB_V} -Horizonten der Typischen LBE 39,5 %, in dem der SBE Bilstein und Rebgeshain 38,3 bzw. 29,1 %. Berücksichtigt man jedoch, dass das $Na_4P_2O_7$ dieser Reaktion auch sesquioxid-organische Verbindungen löst, können die relativ hohen Extraktionsraten der Waldprofile neben den freien Huminstoffen auch durch die Zerstörung von Sesquioxidbrücken hervorgerufen werden. Die niedrigere Extraktionsrate (etwa 10 %) im Profil Rebgeshain weist auf die intensivere Koppelung der Huminstoffe an die anderen Bodenbestandteile in diesem Profil hin.

Der C-Gehalt der organo-mineralischen Kolloide: Auch nach der $Na_4P_2O_7$ -Behandlung wurden die mitextrahierten anorganischen Kolloide durch Aussalzen mit Na_2SO_4 entfernt. Vor und nach dem Aussalzen erfolgte die Fe-, Al und C-Bestimmung in den Extrakten (Methodenangabe siehe unter 2.2.). Ferner wurde der Gesamtextrakt sowohl vor als auch nach dem Aussalzen in die Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen aufgetrennt und an diesen Huminstofffraktionen obige Bestimmungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 26 und 27 zusammengestellt.

Der Anteil des durch Aussalzen geflockten Kohlenstoffs des $Na_4P_2O_7$ -Extrakts, ausgedrückt in % des Gesamt-C, beträgt in den 3 untersuchten Horizonten :

Typische LBE- A_{hB_V}	4,83
Rebgeshain A_{hB_V}	2,22
Profil Bilstein A_{hB_V}	2,15.

Verglichen mit dem bei der NaOH-Extraktion ausgeflockten Kohlenstoff (Tabelle 20) liegt der Anteil des bei der $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Extraktion ausgeflockten Kohlenstoffs an dem Gesamt-C des Feinbodens beim $\text{A}_{\text{h}}\text{B}_{\text{v}}$ -Horizont der Typischen LBE höher, beim $\text{A}_{\text{h}}\text{B}_{\text{v}}$ -Horizont des Profils Bilstein erheblich niedriger ($< 1/3$) und beim $\text{A}_{\text{h}}\text{B}_{\text{v}}$ -Horizont des Profils Rebgeshain in der gleichen Grössenordnung. Wie aus der Tabelle 31 hervorgeht, erscheint der weitaus grösste Anteil des ausgeflockten Kohlenstoffs vor dem Aussalzen in der Huminsäurefraktion, dagegen nur in geringem Anteil in der Fulvosäurefraktion.

c) Der C-Gehalt der Hauptkornfraktionen

Die Bestimmung der C-Gehalte der Kornfraktionen und die prozentuale Verteilung des Gesamt-C auf die Kornfraktionen geben wichtige Aufschlüsse über die Bindung der organischen Substanz an die anorganischen Bodenbestandteile.

Bei der Korngrössenfraktionierung zwecks Untersuchung der organo-mineralischen Komplexe wurde von manchen Bodenkundlern (u.a. ARSHAD & LÖWE 1966, DUDAS & PAWLUK 1969/70, KYUMA und Mitarb. 1969) chemische Reagenzien, dagegen von manchen destilliertes Wasser (u.a. CHICHESTER 1969) als Dispergierungsmittel herangezogen. Eine Fraktionierung mittels Wasser und auf mechanische Art erweist sich als zweckmässiger, da chemische Veränderungen weitgehend ausgeschlossen sind. Auch in der vorliegenden Arbeit wurde der Boden ohne Vorbehandlung mit Oxydations- oder Peptisationsmitteln durch Schütteln und Ultrabeschallung in

destilliertem Wasser dispergiert und mittels ATTERBERG-Zylinder in 3 Korngrößenfraktionen (Ton, Schluff und Feinsand) zerlegt.

Während die Kornverteilung mittels oben angeführter Dispergierung bei den Horizonten der Profile Rebgeshain und Bilstein in etwa der der Dispergierung mittels $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ entspricht, erwies sie sich bei den Proben der LBE als unvollständig. Ein besserer Erfolg dürfte durch Verlängerung der Beschallungszeit zu erreichen sein; sie birgt aber die Gefahr der mechanischen Mineralzerstörung in sich, die besonders bei vulkanischen Gläsern ausgeprägt ist (KANNO & ARIMURA 1967).

Die Dispergierungsresistenz der LBE-Proben wird weniger auf die Anwesenheit hoher Humus- und freien Fe-Oxidgehalten sondern auf das spezifische Dispergierungsverhalten der Allophane zurückgeführt. Eine gute Dispergierung ist nur im alkalischen Bereich möglich. Die dabei eintretende Al-Freisetzung, die dadurch bedingte elektrostatische Aktivierung des Allophans und die im alkalischen Bereich hohe variable negative Ladung verleihen den Allophanen eine Bereitschaft zur Selbstdispergierung, die eine Überwindung der relativ schwachen Kittwirkung des Humus und der freien Fe-Oxide gestattet (HUGENROTH und Mitarb. 1970). Aus Gründen der Huminstoffpeptisation musste jedoch auf Alkalien verzichtet werden.

In Tabelle 21 sind die Kornverteilung des Feinbodens $< 0,2 \text{ mm}$, die absoluten C-Gehalte der Kornfraktionen und die prozentuale

Profil	Horizont	Korngrößenverteilung des > 200 μ Bodens				C-Gehalt der Korn- fraktionen				Prozentuale Verteilung des Gesamt-C in die Frakt.			
		Ton > 2 μ	Schluff 2-63 μ	Feinsand 63-200 μ	$\frac{\text{mg C}}{100 \text{ mg Ton}}$	$\frac{\text{mg C}}{100 \text{ mg Schluff}}$	$\frac{\text{mg C}}{100 \text{ mg Sand}}$	Ton- frak- tion	Schluff- frak- tion	Sand- frak- tion			
Humose	A _{h2}	18,50	51,19	30,31	11,50	5,71	7,62	28,90	39,75	31,35			
LBE	A _{h3}	18,92	53,32	27,76	11,93	5,16	6,60	32,38	39,48	28,14			
Tauf- stein	A _h v	18,56	44,68	36,76	8,04	3,56	5,25	29,77	31,68	38,55			
	FA _h	14,53	71,38	14,09	6,59	2,83	3,00	28,14	59,41	12,45			
Typische LBE	A _h v	16,39	61,69	21,92	9,76	4,65	5,90	27,57	49,79	22,46			
	II B _{v2}	15,90	73,10	11,00	1,30	0,82	0,84	22,97	66,73	10,30			
Bilstein	A _h v	17,77	69,54	12,69	6,04	3,00	3,30	30,01	58,28	11,71			
Rebges- hain	A _h v	14,33	62,15	23,52	3,47	1,65	1,15	27,71	52,20	15,09			
	II fC _v	14,54	48,54	36,92	3,80	1,70	1,30	29,72	44,43	25,85			

Tabelle 21. Der C-Gehalt der Hauptkornfraktionen

Verteilung des Kohlenstoffs auf die Kornfraktionen zusammengestellt. In allen Horizonten ist der C-Gehalt der Kornfraktionen höher als der der anderen Fraktionen. Der gegenüber der Schlufffraktion höhere C-Gehalt der Sandfraktion ist auf Wurzelrückstände zurückzuführen.

Bezogen auf den Feinboden ($< 0,2$ mm) weist die Schlufffraktion der untersuchten Horizonte, mit einer Ausnahme, die höchsten C-Gehalte auf, vermutlich bedingt durch das in dieser Fraktion bevorzugte Auftreten freier Sesquioxide und der damit verbundenen Humusfixierung. Diese Fixierung konnte SPRINGER (1949) in Böden nach Zugabe von Schluff nachweisen.

4.7.2. Die Bestimmung der Fe- und Al-Gehalte der organo-mineralischen Komplexe

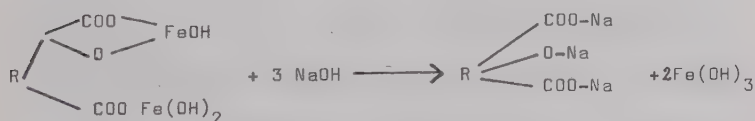
a) NaOH-Behandlung

Die Fe- und Al-Gehalte des Extraktes (die organo-mineralischen Verbindungen): Bei alleiniger Verwendung von NaOH als Extraktionsmittel geht nur ein Bruchteil des mit organischer Substanz assoziierten Fe in Lösung. Deshalb stellt das im NaOH determinierbare Fe nicht die Gesamtheit des organisch gebundenen Fe, sondern nur das Fe organischer Verbindungen hoher Komplexstabilität dar.

Wie schon aus den vorangegangenen Untersuchungen, u.a. Fraktionierung der organischen Substanz, hervorgeht, lässt sich nur

ein Teil der organischen Substanz mit 0,1 n NaOH extrahieren. Vermutlich wird nur ein geringer Teil des organisch gebundenen Fe in 0,1 n NaOH gelöst, während der grösste Teil mit der organischen Substanz im Bodenrückstand verbleibt. Hier erhebt sich die Frage, ob das nicht extrahierbare organisch gebundene Fe in gleicher Bindungsform vorliegt wie das extrahierbare.

Nach Untersuchungen von GRIMME & WIECHMANN (1969) besteht bei der Extraktion des organisch gebundenen Fe mittels NaOH für jede einzelne Bodenprobe eine kritische NaOH-Konzentration. Z.B. stieg beim A_h -Horizont einer Braunerde bis zu einer Konzentration von 0,5 n NaOH die Menge des extrahierbaren Fe an (kein grosser Unterschied zwischen 0,1 und 0,5 n NaOH extrahierbaren Fe), während beim B_v -Horizont schon mit 0,01 n NaOH die höchste Fe-Menge gelöst wird. Hieraus wird abgeleitet, dass nach Überschreiten einer kritischen Konzentration die Fe-organischen Verbindungen infolge der Hydrolyse des Fe unter Ausflockung von Fe-Hydroxid zerfallen und dass diese Konzentration umso höher sein muss je stabiler die Komplexe bzw. Verbindungen sind (WIECHMANN & GRIMME 1969, GRIMME & WIECHMANN 1969, ALEXANDROVA 1967 und KONONOVA 1967).



(nach KAWAGUCHI & KYUMA 1969) (zit. b. PREUSSE 1969)

Andererseits kann die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden, dass während der Extraktion anorganisch gebundenes Fe gelöst und von der peptisierten organischen Substanz gebunden wird.

Das zusammen mit der organischen Substanz in 0,1 n NaOH deteminierbare Fe muss somit sehr fest an der organischen Substanz gebunden sein bzw. in Form von Einschlussverbindungen (intermicellare Bindung) vorliegen, aus der es trotz der hohen Hydroxidionenkonzentration nicht freigesetzt werden kann. Zu diesen Einschlussverbindungen zählen Sesquioxide und von diesen umhüllte Tonminerale. Die Mitextraktion ist denkbar, wenn diese Partikel vollständig von organischen Kolloiden umhüllt sind, wodurch die Zugänglichkeit der Hydroxidionen stark eingeschränkt ist. Die Extrahierbarkeit richtet sich ferner nach der Kolloidgrösse und somit nach dem Verhalten im Schwerfeld (PREUSSE 1969).

Die Zuordnung des mit 0,1 n NaOH extrahierten Al zu definierten organischen Verbindungen ist sehr schwierig. Bei der Extraktion mit NaOH werden sowohl wasserreiche amorphe und kristalline pedogene Al-Oxide als auch Al aus angewitterten Mineralen der Tonfraktion gelöst (SCHLICHTING & BLUME 1966). Bei der Extraktion mit 0,1 n kalter NaOH werden die instabilen sesquioxidorganischen Verbindungen zerstört, Fe wird als Hydroxid geflockt und Al geht als Aluminat in Lösung (ALEXANDROVA 1967).



Profil und Horizont	Gesamtextrakt				FS-Fraktion				HS-Fraktion			
	$\frac{C}{Fe+Al}$	$\frac{C}{Fe}$	$\frac{C}{Al}$	$\frac{Al}{Fe}$	$\frac{C}{Al+Fe}$	$\frac{C}{Al}$	$\frac{Al}{Fe}$	$\frac{C}{Fe+Al}$	$\frac{C}{Fe}$	$\frac{Al}{Al}$	$\frac{C}{Al}$	$\frac{Al}{Fe}$
Typ.LBE A _h B _v	1,56	63,49	1,60	39,5	1,49	148,03	1,51	97,70	1,88	20,39	2,07	9,83
Bilstein A _h B _v	2,20	76,80	2,26	33,8	1,94	94,87	1,98	47,71	3,19	52,94	3,40	15,56
Rebgeshain A _h B _v	2,19	26,83	2,39	11,2	2,26	48,21	2,39	20,26	2,04	13,54	2,41	5,61

Tabelle 23. Verhältnisswerte zwischen C, Fe und Al des NaOH-Extraktes

Profil und Horizont	Gesamtextrakt			FS-Fraktion			HS-Fraktion		
	Fe	Al	C	Fe	Al	C	Fe	Al	C
Typ.LBE A _h B _v	0,0385 100 %	1,5208 100 %	2,4444 100 %	0,0130 33,76%	1,2701 83,51%	1,9244 78,72%	0,0255 66,24%	0,2507 16,49%	0,5200 21,28%
Bilstein A _h B _v	0,0225 100 %	0,7618 100 %	1,7280 100 %	0,0128 56,88%	0,6108 80,17%	1,2144 70,27%	0,0097 43,12%	0,1510 19,93%	0,5136 29,73%
Rebgeshain A _h B _v	0,0300 100 %	0,3368 100 %	0,8050 100 %	0,0115 38,33%	0,2330 69,18%	0,5545 68,88%	0,0185 61,67%	0,1038 30,82%	0,2505 31,12%

Tabelle 22. Der C-, Fe- und Al-Gehalt des NaOH-Extraktes nach Na₂SO₄-Zusatz

Auch nach CORRENS (1949) befindet sich das Al im alkalischen Bereich (pH 9) als Aluminat $[Al(OH)_4]^-$ in Lösung.

Die Gehalte an Fe und Al der organo-mineralischen Verbindungen sind in Tabelle 22 angegeben.

Die Fe-Gehalte bewegen sich zwischen 38,5 (A_{hB_v} -Horizont der Typischen LBE) und 22,5 mg/ 100 g Boden (A_{hB_v} -Horizont des SBE-Profiles Bilstein). Weitaus höher und grösseren Schwankungen unterworfen sind die entsprechenden Al-Gehalte, die zwischen 1520 und 337 mg / 100 g Boden liegen. Der Fe-Gehalt nimmt in der Reihenfolge Typische LBE - Profil Rebgeshain - Profil Bilstein, der Al-Gehalt in der Reihenfolge LBE - Profil Bilstein - Profil Rebgeshain ab.

Bei der Auftrennung des Extraktes in Fulvo- und Huminsäuren geht in allen 3 Horizonten der grösste Teil des Al zu mehr als 83 % in die Fulvosäurenfraktion über, während beim Fe dies nur im A_{hB_v} -Horizont des Profils Bilstein der Fall ist (Tabelle 22). Die Frage, in welchem Umfang das im Extrakt enthaltene Fe und Al in Form von Fe, Al-Fulvaten bzw. -Humaten gebunden ist sowie die Frage, in welchem Umfang das organisch gebundene Fe während der Extraktion als Hydroxid ausflockt, bleibt offen. Daher ist es schwierig, aus den Verhältnisswerten zwischen C, Fe und Al des NaOH-Extraktes (Tabelle 23) Aufschlüsse über den Sättigungsgrad der Huminstoffe mit Fe und Al zu erhalten.

Es soll auch auf die Frage eingegangen werden, in welcher Form das nicht extrahierbare Fe und Al vorliegt. Der Fe_d -Gehalt des

Bodenrückstands nach der NaOH-Behandlung beträgt bei der LBE 3,61 %, in dem $A_h B_V$ -Horizont der Profile Rebgeshain und Bilstein 3,43 bzw. 3,40 %. Somit sind zwischen 82,6 bis 98,2 % des freien Fe im Bodenrückstand verblieben. Nach der Behandlung des Rückstands mit H_2O_2 (Zerstörung der organischen Substanz) wird der Fe_d -Gehalt der LBE um 9,3, in dem Profil Rebgeshain um 2,0 und in dem Profil Bilstein 5,5 % erhöht. Die Zunahme hat folgende Ursachen:

- a) Zerstörung nicht extrahierbarer organischer Radikale metallorganischer Verbindungen, dadurch bessere Angreifbarkeit der Fe-Verbindungen.
- b) partielle Zerstörung organischer Makromoleküle und dadurch Erhöhung der Extrahierbarkeit der organischen Radikale (da diese "kleiner geworden sind") bzw. deren metallorganischen Verbindungen.
- c) Zerstörung von organischen Überzügen (die nicht mittels NaOH extrahierbar sind); dadurch Freilegung von Sesquioxiden und Radikalen mittels Dithionit.

Der prozentualen Erhöhung zufolge dürfte der Anteil des Fe instabiler organischer Bindung in der Reihenfolge LBE - Bilstein - Rebgeshain abnehmen. Berücksichtigt man jedoch, dass die absoluten Unterschiede sehr gering sind, so können die Unterschiede nicht als gesichert gelten.

Während beim Fe durch die H_2O_2 -Behandlung nur geringe Differenzen auftreten, sind diese beim Aluminium höher (die Zunahme beträgt in LBE 37,3 %, in Rebgeshain 33,3 %, in Bilstein 106,9%).

Eine Aussage über die Herkunft des nach der H_2O_2 -Behandlung mittels Dithionit extrahierbaren Al ist schwierig. Es ist zu vermuten, dass neben organisch gebundenem Al (infolge der Entfernung nicht extrahierbarer organischer Schutzhüllen) auch Al aus Tonmineralen und aus Al-haltigen, amorphen anorganischen Substanzen gelöst worden ist.

Die Fe- und Al-Gehalte der organo-mineralischen Kolloide:

Die durch Na_2SO_4 aus dem NaOH-Extrakt ausgefällten Sesquioxide dürften als Tonsesquioxidkomplexe, überwiegend jedoch in Form von Sesquioxid-Humus- oder Ton-Sesquioxid-Humuskomplexen vorliegen.

Die Fe- und Al-Gehalte dieser Kolloide sind in Tabelle 24 und 25 angegeben:

Die Fe_d -Gehalte - ausgedrückt in % - der organo-mineralischen Kolloide erreichen in LBE-Profilen maximal 7,3 % (im A_{h2} -Horizont der Humosen LBE), im Profil Bilstein maximal 6,8 % (A_{hB_V} -Horizont) und im Profil Rebgeshain maximal 2,2 % (A_{hB_V} -Horizont), während die Fe_o -Gehalte in LBE-Profilen maximal 2,2 % (A_{h2} -Horizont der Humosen LBE) und im Profil Bilstein maximal 2,2 % (A_{hB_V}) und im Profil Rebgeshain etwa 0,7 % (A_{hB_V}) liegen.

Mit Ausnahme der Horizonte des Profils Rebgeshain und dem IIB_V -Horizont der Humosen LBE liegen die Fe_d -Gehalte der organo-mineralischen Kolloide höher als die der Böden (Tabelle 24).

Dagegen sind die Fe_o/Fe_d -Verhältnisswerte der organo-mineralischen

Profil	Horizont	Fe _d	Fe _o	Al _d	Al _o	$\frac{Fe_d}{Fe_o}$	$\frac{Fe_d}{Al_d}$	Fe _d -Fe _o
Humose LBE	A _{h2}	7,56	2,21	1,50	0,79	0,29	5,04	5,35
	A _{h3}	7,21	2,10	1,52	0,81	0,29	4,74	5,11
	IIB _v	4,11	0,49	1,13	0,64	0,11	3,63	3,62
LBE Taufstein	A _h B _v	5,14	1,14	1,41	0,70	0,22	3,64	4,00
	fA _h	6,73	1,75	1,87	1,17	0,26	3,59	4,98
	IIB _v	5,31	1,17	1,58	0,95	0,22	3,36	4,14
Typische LBE	A _h B _v	7,54	1,40	1,86	0,79	0,18	4,05	6,14
	B _v	7,33	1,45	2,00	0,93	0,19	3,66	5,88
	IIB _{v2}	5,42	0,98	1,33	0,78	0,18	4,07	4,44
Bildstein	A _h B _v	6,82	2,20	1,23	0,74	0,32	5,54	4,62
Rebgeshain	A _h B _v	2,22	0,67	0,66	0,50	0,30	3,36	1,55
	IIfC _v	1,18	0,43	0,53	0,38	0,36	2,22	0,75

Tabelle 24. Die freien Oxide des Fe, und Al der organo-mineralischen Kolloide (Angaben in : mg/100 mg C-freie organo-mineralische Kolloide).

Profil	Horizont	A				B			
		Fe _D	Fe _O	Al _D	Al _O	Fe _D	Fe _O	Al _D	Al _O
Humose	A _{h2}	0,7144	0,2088	0,1417	0,0746	14,72	10,76	5,45	4,44
LBE	A _{h3}	0,8111	0,2362	0,1710	0,0911	15,68	12,11	6,38	5,23
	IIB _v	0,0086	0,0010	0,0023	0,0013	0,18	0,21	0,21	0,15
LBE Tauf-	A _h ^B	0,3171	0,0703	0,0869	0,0431	7,42	3,94	4,09	2,69
stein	fA _h	0,6595	0,1715	0,1832	0,1146	20,04	14,41	8,98	6,33
	IIB _v	0,0122	0,0026	0,0036	0,0021	0,40	0,59	0,33	0,19
Typische	A _h ^B	0,5179	0,0961	0,1277	0,0542	11,85	6,12	5,91	3,40
LBE	B _v	0,4207	0,0832	0,1148	0,0533	10,38	6,16	6,37	3,48
	IIB _{v2}	0,0108	0,0019	0,0026	0,0015	0,24	0,30	0,25	0,18
Bilstein	A _h ^B	0,3941	0,1271	0,0710	0,0427	10,76	7,89	6,69	4,49
Rebges-	A _h ^B	0,0281	0,0085	0,0083	0,0063	0,80	0,81	1,23	0,94
hain	IIFC _v	0,0127	0,0046	0,0057	0,0041	0,37	0,47	0,89	0,64

Tabelle 25. A. Die freien Oxide von Fe und Al der organo-mineralischen Kolloide in % des freien Feinbodens

B. Der prozentuale Anteil der freien Oxide von Fe und Al der organo-mineralischen Kolloide an den freien Oxiden von Fe und Al des Feinbodens

$$\left(\text{z.B. } \frac{\text{Fe}_D(\text{omK})}{\text{Fe}_D(\text{FB})} \times 100 ; \frac{\text{Al}_O(\text{omK})}{\text{Al}_O(\text{FB})} \times 100 \right)$$

Kolloide in den Decksedimenthorizonten der LBE-Profile und im A_hB_v -Horizont des Profils Rebgeshain niedriger als die der Böden. Das Fe_o dürfte das organisch gebundene Fe besser kennzeichnen als das Fe_d . Wenn alles Fe als Fe-organischer Komplex vorliegen würde, müssten Fe_o -Gehalte der organo-mineralischen Kolloide höher sein als die Fe_o -Gehalte des Bodens. Dies ist zum grössten Teil der Fall. Auffallend sind aber die gegenüber dem Feinboden wesentlich höheren Fe_d -Werte. Hierbei handelt es sich um die Mitextraktion und Fällung (bei Na_2SO_4 -Zusatz) oxydischer Fe-Verbindungen (Fe-Mineralen) in Form von Komplexen; dies geht auch aus den $(Fe_d - Fe_o)$ -Werten hervor. Allerdings dürfte während der NaOH-Extraktion schon ein Teil des locker gebundenen Fe aus den Komplexen entfernt worden sein. Vermutlich ist diese Form des Fe oxalatlöslich; ausserdem können Huminstoffüberzüge (Huminsäuren), die bei der Oxalatextraktion nicht peptisiert werden, als Schutzhüllen fungieren. Dagegen werden in der Dithionitlösung (höhere OH-Konzentration als Oxalatlösung) die Überzüge zum Teil peptisiert. Hinzu kommt die Reduktion von Fe^{3+} , wodurch die Löslichkeit erhöht wird. Daher wird vermutet, dass während der Huminstoffpolymerisation infolge reduktiver Verhältnisse ein Teil des oxydisch gebundenen Fe mobilisiert und mit den Huminstoffen auf den Tonmineralen oder auf den amorphen anorganischen Substanzen ausgefällt wird. Nach MEYER & SAKR (1970) soll sich ein Teil des freien Fe der Lockerbraunerden in Form oxydischer Hüllen auf den Allophanen und Silikaten befinden; diese Fe-Oxidhüllen sind bevorzugte Sorptionsträger für Huminstoffe.

Die Al_d -Gehalte der organo-mineralischen Kolloide (Tabelle 24) liegen in den Decksedimenthorizonten (Ausnahme B_v -Horizont der Typischen LBE) und im $IIFC_v$ -Horizont des Profils Rebges-
hain niedriger als die der Böden, in den übrigen Horizonten dagegen höher. Ohne Ausnahme weisen alle organo-mineralischen Kolloide der untersuchten Horizonte niedrigere Al_o -Gehalte auf als die Böden.

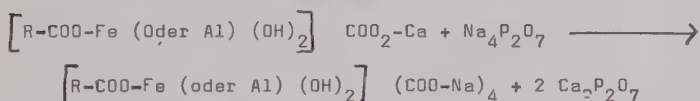
Entsprechend der Zusammensetzung organo-mineralischer Verbindungen und Kolloide sowie deren Komplexstabilität dürfte ein Teil des organisch gebundenen Al schon während der NaOH-Extraktion aus den entsprechenden Kolloiden und Verbindungen freigesetzt werden. Ferner ist auch hier der Einfluss von Huminstoff-Überzügen zu berücksichtigen. Diese Vermutung wird durch die Ergebnisse gestützt, die durch die Bestimmung des Al_d in dem durch Na_2SO_4 aus dem NaOH-Extrakt fällbaren Anteils ohne und mit Zerstörung der organischen Substanz mittels H_2O_2 an den Proben zweier Horizonte (A_hB_v -Horizont der Typischen LBE bzw. des Profils Bilstein) gewonnen wurden. Während der Al_d -Gehalt ohne Zerstörung der organischen Substanz 1,86 % bzw. 1,23 % betrug, stieg er nach Zerstörung auf 3,64 % bzw. 3,30 %; das entspricht einer Zunahme von 95,6 bzw. 68,2 %. Im Gegensatz dazu ist im Falle des Fe_d in dem erstgenannten Horizont eine leichte Abnahme um 3,7 % zu verzeichnen, während Fe_d der organo-mineralischen Kolloide des A_hB_v -Horizonts des Profils Bilstein nach der H_2O_2 -Behandlung unverändert bleibt.

b) Na₄P₂O₇-Extraktion

Die Fe- und Al-Gehalte im Extrakt (organo-mineralische Verbindungen): Die Extraktion erfolgte nach der unter 2.2. angegebenen Methode. Hierbei soll organisch gebundenes Fe und Al nicht dagegen anorganisch gebundenes Fe und Al extrahiert werden (ALEXANDROVA 1958, 1960 a, b und MC KEAGUE 1968).

ALEXANDROVA ist der Ansicht, dass Fe- und Al-Komplexe bei pH-Werten unter 9 nicht zerstört werden. Dagegen führt KONONOVA (1967) aus, dass dieses Reagenz auch anorganisch gebundenes Fe und Al löst und teilweise zur Zerstörung der Fe- und Al-Humuskomplexe führt, da diese zwischen pH 3 und 7 stabil sind.

Das Prinzip der Extraktion ist die irreversible Kationenaustauschreaktion (ALEXANDROVA 1960 b).



Die Fe- und Al-Gehalte des Gesamtextraktes und der Humin- und Fulvosäurefraktion sowohl vor als auch nach dem Aussalzen mittels Na₂SO₄ sind in Tabelle 26 und 27 zusammengestellt. Der Anteil des mittels Na₄P₂O₇ extrahierten Fe und Al in Form organo-mineralischer Verbindungen liegen - verglichen mit den A_hB_v-Horizonten der Profile Rebgeshain und Bilstein - in dem A_hB_v-Horizont der Typischen LBE sehr hoch. Zwar ist in dem letztgenannten Horizont auch die Extraktionsrate des Kohlenstoffs höher als in den beiden anderen Horizonten, die

$\frac{C}{Fe + Al}$ -Verhältnisse deuten jedoch darauf hin, dass die Fe-Al-organischen Verbindungen in der Reihenfolge LBE - Bilstein und Rebgeshain abnehmen. Aus den Verhältniszahlen $\frac{C}{Fe}$ und $\frac{C}{Al}$ ist abzuleiten, dass bevorzugt Al-organische Verbindungen in diesen Böden auftreten (Tabelle 26 und 27).

Auch aus der Tabelle 30 geht hervor, dass der organisch gebundene Anteil des Fe und Al (extrahiert mit $Na_4P_2O_7$) an dem gesamtfreien Fe und Al im LBE-Horizont höher liegt als der in SBE-Horizonten (Bilstein > Rebgeshain).

Profil und Horizont	vor Na_2SO_4 -Zusatz				nach Na_2SO_4 -Zusatz			
	$\frac{Fe_{py}}{Fe_d}^*$	$\frac{Fe_{py}}{Fe_o}^*$	$\frac{Al_{py}}{Al_d}^*$	$\frac{Al_{py}}{Al_o}^*$	$\frac{Fe_{py}}{Fe_d}^*$	$\frac{Fe_{py}}{Fe_o}^*$	$\frac{Al_{py}}{Al_d}^*$	$\frac{Al_{py}}{Al_o}^*$
Typische								
LBE, $A_h B_v$	43,7	121,6	120,4	163,5	32,4	90,2	72,6	98,7
SBE Bil-								
stein, $A_h B_v$	24,6	56,1	89,6	100,0	21,4	48,6	75,4	84,2
SBE-Rebges-								
hain, $A_h B_v$	8,4	28,2	52,2	52,2	6,7	22,5	41,7	41,7

Tabelle 30. Der prozentuale Anteil des $Na_4P_2O_7$ -löslichen Fe und Al an dem dithionit- und oxalatlöslichen Fe und Al des Feinbodens (*) x 100)

Bei der Trennung des Extraktes in Fulvo- und Huminsäuren gehen 79-81 % des gesamtextrahierbaren Fe in die Fulvosäurenfraktion über. Hinsichtlich der Verteilung des Al bestehen in den 3 Horizonten insofern Unterschiede, indem der prozentuale An -

Profil und Horizont	Gesamtextrakt			FS-Fraktion			HS-Fraktion		
	Fe	Al	C	Fe	Al	C	Fe	Al	C
Typische LBE	1,9097	2,6009	2,5733	1,2700	1,6306	1,8400	0,6397	0,9703	0,7333
A _h v	100 %	100 %	100 %	66,50%	62,69%	71,50%	33,50%	37,31%	28,50%
Bilstein	0,9040	0,9406	1,4568	0,7155	0,6602	0,9192	0,1905	0,2904	0,5376
A _h v	100 %	100 %	100 %	79,09%	69,45%	63,09%	20,97%	30,55%	36,91%
Rebgeshain	0,2943	0,3515	0,5650	0,2323	0,2503	0,3715	0,0620	0,1012	0,1935
A _h v	100 %	100 %	100 %	78,98%	71,20%	65,75%	21,07%	28,80%	34,25%

Tabelle 26. Der C-, Al- und Fe-Gehalt des Na₄P₂O₇-Extraktes (vor Na₂SO₄-Zusatz).

Profil und Horizont	Gesamtextrakt			FS-Fraktion			HS-Fraktion		
	Fe	Al	C	Fe	Al	C	Fe	Al	C
Typische LBE	1,4166	1,5700	2,2933	1,1200	1,3600	1,7520	0,2966	0,2100	0,5413
A _h v	100 %	100 %	100 %	79,06%	86,62%	76,39%	20,94%	13,38%	23,61%
Bilstein	0,7825	0,8002	1,3792	0,6302	0,5600	0,9064	0,1523	0,2402	0,4728
A _h v	100 %	100 %	100 %	78,93%	69,98%	65,71%	21,07%	30,02%	34,29%
Rebgeshain	0,2343	0,2803	0,5250	0,1905	0,2401	0,3660	0,0438	0,0402	0,1590
A _h v	100 %	100 %	100 %	81,30%	85,65%	69,71%	18,70%	14,35%	30,29%

Tabelle 27. Der C-, Fe- und Al-Gehalt des Na₄P₂O₇-Extraktes (nach Na₂SO₄-Zusatz).

Profil und Horizont	Gesamtextrakt				FS-Fraktion				HS-Fraktion			
	C/Fe+Al	C/Fe	C/Al	Al/Fe	C/Fe+Al	C/Fe	C/Al	Al/Fe	C/Fe+Al	C/Fe	C/Al	Al/Fe
Typische LBE	0,57	1,34	0,98	1,37	0,63	1,44	1,12	1,28	0,45	1,14	0,75	1,51
A _h ^B _v												
Bilstein	0,78	1,61	1,53	1,05	0,66	1,28	1,39	0,92	1,11	2,82	1,85	1,52
A _h ^B _v												
Rebgeshain	0,87	1,91	1,60	1,19	0,76	1,59	1,48	1,07	1,18	3,12	1,91	1,63
A _h ^B _v												

Tabelle 28. Verhältnisse zwischen C, Fe und Al des Na₄P₂O₇-Extraktes (vor Na₂SO₄-Zusatz)

Profil und Horizont	Gesamtextrakt				FS-Fraktion				HS-Fraktion			
	C/Fe+Al	C/Fe	C/Al	Al/Fe	C/Fe+Al	C/Fe	C/Al	Al/Fe	C/Fe+Al	C/Fe	C/Al	Al/Fe
Typische LBE	0,76	1,61	1,46	1,10	0,70	1,56	1,28	1,21	1,06	1,82	2,57	0,70
A _h ^B _v												
Bilstein	0,87	1,76	1,72	1,02	0,76	1,43	1,61	0,88	1,20	3,10	1,96	1,57
A _h ^B _v												
Rebgeshain	1,02	2,24	1,87	1,19	0,84	1,92	1,52	1,26	1,89	3,63	3,95	0,91
A _h ^B _v												

Tabelle 29. Verhältnisse zwischen C, Fe und Al des Na₄P₂O₇-Extraktes (nach Na₂SO₄-Zusatz)

teil in der Fulvosäurenfraktion in dem $A_h B_v$ -Horizont der Profile Typische LBE und Rebgeshain 86,6 und 85,6 % vergleichbar sind, dagegen liegt in dem entsprechenden Horizont des Profils Bilstein nur 72,5 % des Al der organo-mineralischen Verbindungen in der Fulvosäurenfraktion vor.

Den C/Fe und C/Al-Verhältnisses zufolge ist in den $A_h B_v$ -Horizonten der Profile Typische LBE und Rebgeshain das Al in stärkerem Ausmass an der Bildung organo-mineralischer Verbindungen der Fulvosäurenfraktion beteiligt als das Fe, während in der Huminsäurenfraktion die Fe-organischen Verbindungen überwiegen. In dem $A_h B_v$ -Horizont des Profils Bilstein sind die Verhältnisse umgekehrt.

Die Fe- und Al-Gehalte der organo-mineralischen Kolloide:

Die Abnahme der C-Gehalte nach Na_2SO_4 -Zusatz zeigt, dass bei dem Aussalzen nicht nur Tonkolloide und kolloidale Sesquioxide, sondern auch an diese fest gebundene Huminstoffe entfernt wurden.

Die absoluten Fe- und Al-Gehalte der organo-mineralischen Kolloide (in % des Feinbodens) (Tabelle 31) und ihre prozentualen Anteile (in % des $Na_4P_2O_7$ -löslichen Fe und Al) (Tabelle 32). liegen im LBE-Horizont wesentlich höher als in den SBE-Horizonten. Das Fe der organo-mineralischen Kolloide besteht im LBE-Horizont zu 30,4 % und in den $A_h B_v$ -Horizonten der Sauren Braunerden zu 69,9 bzw. 70,2 % aus dem vor dem Aussalzen des Extraktes in Fulvosäurefraktionen erschienenen Fe. Da die Ge-

Profil und Horizont	Total			Herkunft aus FS-Fr.			Herkunft aus HS-Frakt.		
	Fe	Al	C	Fe	Al	C	Fe	Al	C
Typische LBE, A _h B _v	0,4931 100 %	1,0309 100 %	0,2800 100 %	0,1500 30,4 %	0,2706 26,2 %	0,0880 31,4 %	0,3431 69,6 %	0,7603 73,8 %	0,1920 68,6 %
Rebgeshain A _h B _v	0,0600 100 %	0,0712 100 %	0,0400 100 %	0,0418 69,6 %	0,0102 14,3 %	0,0055 13,75 %	0,0182 30,4 %	0,0610 85,7 %	0,0345 86,25 %
Bilstein A _h B _v	8,1215 100 %	0,1504 100 %	0,0776 100 %	0,0853 70,2 %	0,0802 66,6 %	0,0128 16,5 %	0,0382 29,8 %	0,0502 33,4 %	0,0648 83,5 %

Tabelle 31. Die Fe-, Al und C-Gehalte der organo-mineralischen Kolloide (mg / 100 mg Feinboden)

Profil und Horizont	Gesamtextrakt			FS-Fraktion			HS-Fraktion		
	Fe	Al	C	Fe	Al	C	Fe	Al	C
Typ. LBE A _h B _v	25,92	39,63	10,88	11,81	16,59	4,78	53,63	78,35	26,18
Rebgeshain A _h B _v	20,38	20,25	7,07	17,84	4,07	1,48	29,35	60,27	17,82
Bilstein A _h B _v	13,44	15,82	5,32	11,79	5,78	1,39	20,05	17,28	12,05

Tabelle 32. Die Fe-, Al- und C-Gehalte der organo-mineralischen Kolloide in % des Fe, Al und C des Na₄P₂O₇-Extraktes

halte von Fe und Al der organo-mineralischen Kolloide nur aus der Differenz der Fe- und Al-Gehalte des Gesamtextraktes mittels $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ vor und nach dem Aussalzen berechnet wurden, ist eine Aussage über ihre Natur nicht möglich.

4.7.3. Die Röntgenaufnahmen

Im Zuge der NaOH-Extraktion erfolgt neben der Peptisation organischer Verbindungen auch die mineralischer. Hierbei dürfte es sich neben diskreten Tonmineralen hohen Dispersitätsgrades und freien Oxiden vor allem um Adsorptionsverbindungen dieser mit organischen Substanzen in Form von Ton-Humus- oder Ton-Sesquioxid-Humus-Verbindungen handeln. Diese Kolloide werden bei Erhöhung der Na-Konzentration geflockt. Um eine Vorstellung über die mitextrahierten anorganischen Kolloide zu erhalten, wurden von einigen Proben Röntgenaufnahmen hergestellt.

Die Auswertung der Diagramme ergibt folgendes Bild:

Den organo-mineralischen Kolloiden der Lockerbraunerden gemeinsam ist der hohe Anteil amorpher Minerale im Bereich des Decksediments, kenntlich an dem steilen Interferenzanstieg im Kleinwinkelbereich. Dieser Mineralanteil nimmt in den Solifluktionshorizonten sehr stark ab. An kristallinen Mineralen sind vor allem Übergangs- bzw. Wechsellagerungsminerale aus der Gruppe der Dreischichtminerale zu identifizieren. Diesen

gemeinsam ist die Instabilität, die sich in der Interferenzauflösung nach der Glycerinsättigung der Ca-gesättigten Proben äussert, vermutlich eine Folge der Schichtpaketauflösung in nicht mehr mittels Röntgenstrahlen auflösbare Elementarschichten (TRIBUTH 1967). Neben den erwähnten Dreischichtmineralen sind in dem A_{h2} -Horizont der Humosen LBE Spuren von Kaolinit und in dem fA_h -Horizont des Profils Taufstein Halloysit zu identifizieren.

Abweichend von den Proben der Lockerbraunerden sind in den untersuchten Sauren Braunerden kristalline Minerale nicht mit Sicherheit zu identifizieren. Es liegt die Vermutung nahe, dass in diesen Profilen die Kopplung der Tonminerale an der organischen Komponente nicht so intensiv ist wie in den Lockerbraunerden, in denen die hohen Sesquioxidanteile als Brücken fungieren. Somit dürfte schon während der NaOH-Extraktion eine Spaltung der organo-mineralischen Kolloide und die Abtrennung dieser von den organischen Kolloiden im Schwerfeld der Zentrifuge erfolgen.

Die Stabilität der Dreischichtminerale wird von MEYER & SAKR (1970) auf den hohen Allophangehalt zurückgeführt, indem die Allophane Schutzhüllen um die kristallinen Minerale bilden und so die Mineraldiagenese bzw. den Mineralzerfall unter den extrem sauren Bedingungen verhindern oder mindestens verzögern. Nach POETSCH (persönl. Mitteilung) dürfte dagegen ein Teil der Drei- und Vierschichtsilikate, insbesondere die hitzebeständigen Chlorite sehr wahrscheinlich auf der Bimsbeimengung beruhen. Das geringe Alter dieses Sediments könnte

im Gegensatz zu dem hohen Alter des basaltischen Tuffs die Erklärung für den relativ guten Erhaltungszustand der Tonminerale im Decksediment sein.

Die Instabilität der Dreischichtminerale legt auch die Vermutung nahe, dass es sich bei den Allophanen um Verwitterungsprodukte der Dreischichtminerale handelt. Demgegenüber äussern SCHWERTMANN & NIEDERBUDDE (1969) die Vermutung, dass es sich bei den Allophanen in den Lockerbraunerden um Montmorillonitvorstufen handelt.

Bei der Interpretation der Untersuchungsergebnisse ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine Tonmineralbestimmung der Tonfraktion nicht durchgeführt wurde, so dass keine Aussagen über die tonmineralogische Zusammensetzung gemacht werden können. Das bevorzugte Auftreten von Dreischichtmineralen in Form organomineralischer Kolloide steht im Einklang mit den Befunden, dass diese Mineralgruppe wegen ihrer grossen Oberflächenaktivität bevorzugt mit aktiven Sesquioxiden Adsorptionsverbindungen bildet, die ihrerseits wieder Brücken zu den organischen Radikalen herstellen.

5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die Hauptaufgabe der vorliegenden Arbeit bestand darin, die Eigenschaften der organischen Substanz in den Lockerbraunerden und Sauren Braunerden des Hohen Vogelsbergs zu bestimmen. Darüber hinaus sollte versucht werden, Anhaltspunkte für die Genese und die ehemalige Vegetation sowie den Einfluss des Bimses auf die Humusbildung zu erhalten.

Zunächst sei auf den Humusgehalt und seine Ursachen eingegangen. Der Gesamt-C-Gehalt nimmt von den Sauren Braunerden in der Reihenfolge Rebgeshain, Bilstein zu den Lockerbraunerden zu. Wie zu erwarten war, haben die Böden unter Wald einen höheren Gesamt-C-Gehalt als das Ackerprofil (1,8-3,7%). Bei den Waldprofilen unterscheiden sich die Lockerbraunerden durch höhere C-Gehalte von der Sauren Braunerde am Bilstein. Für die hohen Gehalte an organischer Substanz der Lockerbraunerden des Hohen Vogelsbergs können folgende Ursachen angeführt werden:

1. Die schwache Mineralisierung, die auf die geringe biologische Tätigkeit zurückzuführen ist. Diese ist die Folge von Basenarmut, niedrigem pH-Wert, hohen Niederschlägen, langer Frostperiode (etwa 160 Tage) und der toxischen Wirkung des in hoher Konzentration vorhandenen Fe und Al.

Der sehr grosse Unterschied im C-Gehalt zwischen dem Mineralboden (maximal 14,7 %) und der Auflage (maximal 34,5 %), weite

C/N-Verhältnisse und eine sehr starke Abnahme des C-Gehalts, insbesondere des Huminsäuregehalts mit der Tiefe weisen auf die geringe biologische Tätigkeit hin. In derart sauren Böden haben nur Pilze grössere Bedeutung.

2. Die Humusakkumulation ist in diesen Böden in gewissem Grade abhängig von der Menge sorptionsaktiver Minerale, vor allem Sesquioxide und andere amorphe Substanzen, die wahrscheinlich zum grössten Teil aus Allophanen bestehen. Diese Minerale sind reichlich vorhanden, ihre Bedeutung für die Humusakkumulation geht aus den Ergebnissen folgender Autoren hervor:

- Al- und Fe-Oxide/Hydroxide, insbesondere Allophane können aufgrund ihrer Anionenaustauschkapazität im sauren Bereich Huminstoffe sorptiv binden (WADA & ATAKA 1958, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1970);
- Fe und Al fungieren zwischen Huminstoffen und negativ geladenen Tonmineralen als Brückenbildner (u.a. SCHARPENSEEL 1966);
- amorphes Al und insbesondere Allophane sind in der Lage, organische Substanzen vor der mikrobiellen Zerstörung zu schützen (MONASTERIO 1970);
- die aktiven Fe-Oxide haben eine katalytische Wirkung auf den Huminsäureaufbau (SCHEFFER und Mitarb 1962). Nach KYUMA & KAWAGUCHI (1964) vermögen auch Allophane die oxydative Polymerisation der organischen Stoffe (Versuchsmaterial Tannin) im sauren Bereich zu beschleunigen. Eine besonders starke Wirkung sollen auch Fe-Oxide haben.

Betrachtet man die erzielten Analysenergebnisse unter Berücksichtigung der oben angeführten Funktionen der Sesquioxide und Allophane, so scheint die unter 2 mitgeteilte Annahme richtig zu sein, denn

- trotz der hohen Löslichkeit der Huminstoffe in 0,1 n NaOH-Lösung (ohne Decalcifizierung) ist die Mobilität der Huminstoffe relativ gering. Da Ca in diesen Böden kaum vorhanden ist, kann die Immobilität nur auf den hohen Anteil fällungsaktiver Kationen (Fe und Al) bzw. absorptionsaktiver Oberflächen zurückgeführt werden. Die hohe Löslichkeit der Huminstoffe in NaOH beruht auf freien Huminstoffen und auch auf der leichten Löslichkeit der sorptiv gebundenen Huminstoffe;
- die Lockerbraunerden weisen einen hohen Anteil an oxalatlöslichem Fe und Al auf. 98% des oxalatlöslichen Al und 90% des oxalatlöslichen Fe liegen in organisch gebundener Form vor (im A_{hB_v} -Horizont der Typischen Lockerbraunerde). Die entsprechenden Al- und Fe-Werte der untersuchten Horizonte der Sauren Braunerde betragen bei Rebgeshain 41 und 22%, am Bilstein 84 und 48%. Die organo-mineralischen Kolloide weisen auch einen hohen Gehalt an Fe, Al und anorganischen amorphen Substanzen auf;
- die Zunahme der Huminsäuren nach Säurebehandlung in Abwesenheit von Ca ist ein Hinweis auf die Kopplung der Huminsäuren über Sesquioxidbrücken; das bevorzugte Auftreten von Dreischichtmineralen in Form organo-mineralischer Kolloide deutet darauf hin, dass diese Mineralgruppe wegen ihrer grossen Oberflächenaktivität bevorzugt Sesquioxide sorbiert, die ih-

rerseits wieder Brücken zu organischen Molekülen bilden;
 - trotz der schwachen Klebkraft der Huminstoffe ist eine geringe Dispergierung des Bodens im neutralen Bereich zu erzielen, während im alkalischen Bereich ohne Zerstörung der organischen Substanz und ohne Entfernung des Fe fast die gleiche Dispergierung erfolgt wie bei den vorbehandelten Proben. Die Dispergierung beruht wahrscheinlich massgeblich auf der Menge und Art der Allophane.

Da aber die qualitative und quantitative Bestimmung der anorganischen amorphen Substanzen grosse Schwierigkeiten bereitet und mit herkömmlichen Methoden keine gesicherten Ergebnisse erzielt werden können, ist das Ausmass der Beteiligung dieser Komponenten an der Humusakkumulation schwer festzustellen. Im Falle einer NaOH-Anwendung, z.B. nach HASHIMOTO & JACKSON (1960) ist neben Allophanen auch mit amorpher Kieselsäure, ausserdem mit Gibbsit und Bestandteilen stark angewitterter Tonminerale und Silikaten zu rechnen.

3. Die spezifischen physikalischen Eigenschaften der Lockerbraunerden, wie der hohe Anteil grober Poren und die hohe Wasserdurchlässigkeit, begünstigen die Humusakkumulation im Mineralboden. Durch Sickerwasser werden die Streu- und Huminstoffe leicht aus den Auflagehorizonten in den Mineralboden eingewaschen, wo sie grösstenteils durch die sorptionsaktiven Oberflächen der anorganischen Bestandteile immobilisiert werden. Es ist auch nicht ausgeschlossen, dass die niedermolekularen organischen Stoffe teilweise in den Zwischenschichten der aufweitbaren

Tonminerale eingelagert werden (SCHNITZER & KODAMA 1967).

Die in den Mineralboden gelangten organischen Stoffe werden unter katalytischer Wirkung des Fe und vielleicht auch der Allophane Polymerisationsprozessen unterworfen. Die Polymerisate sind während der langen Frostperiode weitgehend vor Abbau geschützt.

Die Lockerheit des Bodens ermöglicht eine gute Durchwurzelung, so dass die Ausscheidungen der Wurzeln und die abgestorbenen Reste zur Humusanreicherung beitragen.

Der geringe Gesamt-C-Gehalt der Sauren Braunerden vom Bilstein ist darauf zurückzuführen, dass dieser Boden die unter 1, 2 und 3 angeführten Eigenschaften nicht hat und die erläuterten Vorgänge nur im geringen Umfang ablaufen.

Hinsichtlich der Zusammensetzung des Humus weisen die Lockerbraunerden die folgenden für saure Böden typische Differenzierung der Huminstoffe auf: Der Fulvosäurenanteil an gesamtextrahierbaren Huminstoffen beträgt im Mineralboden 64,9 bis 92,7 %. Dagegen beläuft sich der entsprechende Anteil der Huminsäuren auf 7,2 bis 35,0 %. Infolgedessen bewegen sich die HS/FS-Verhältnisse zwischen 0,07 und 0,53. Die mobilen bzw. leicht löslichen Huminstoffe machen an den gesamtextrahierbaren Huminstoffen 67 bis 80 % aus. Der absolute Gehalt an Huminstoffen (mg C/100 mg Feinboden) nimmt mit der Tiefe sehr stark ab. Diese Abnahme ist bei den Huminsäuren besonders ausgeprägt. Dagegen zeigt der Anteil der leicht löslichen Huminstoffe an gesamtextrahierbaren Huminstoffen mit der Tiefe eine Zunahme. Die Zunahme hat folgende Ursachen:

- Die Verlagerung der leicht löslichen Huminstoffe und
- die ungünstigeren Polymerisationsbedingungen sowie die gehemmte Mikroorganismen-tätigkeit mit zunehmender Tiefe.

Die Huminsäuren haben einen C-Gehalt von 50 bis 56 % und bestehen hauptsächlich aus Braunhuminsäuren (etwa 50 - 100 %). Ihre optische Dichte ist im allgemeinen niedrig und unterliegt grossen Schwankungen. Die Huminstoffe weisen eine hohe Sättigung mit Sesquioxiden auf und treten überwiegend in Form von Fulvosäure-Sesquioxidverbindungen auf ($Al-FS > Fe-FS$). Die C/N-Verhältnisse schwanken zwischen 14,3 und 25,3.

Die Zusammensetzung des Humus der Sauren Braunerden ist die gleiche wie in den Lockerbraunerden. Die Abnahme der Huminstoffe mit der Tiefe ist in den Sauren Braunerden jedoch nicht so ausgeprägt wie in den Lockerbraunerden. Unter Wald bildet sich mullartiger Moder und unter Acker Mull. Diese Unterschiede sind auf die stärkere biologische Tätigkeit und bei Ackernutzung auf die Bodenbearbeitung und Düngung zurückzuführen. So ist beim Profil Rebgeshain der Anteil der an anorganischen Bestandteilen gebundenen Huminstoffe an den Gesamthuminstoffen höher als in den Waldprofilen, was ausser auf die Ackernutzung auch auf die höhere Basensättigung zurückzuführen ist.

Im höchsten Teil des Vogelsbergs konnten trotz gleicher klimatischer Bedingungen zwischen dem Humus des Decksediments und des Solifluktionsschuttes Unterschiede festgestellt werden, die auf die Beimengung von Bims und von basaltischen Verwitterungspro-

dukten im Decksediment zurückgeführt werden. Dies äussert sich in der Zunahme des Gehalts an organischer Substanz. Die Ursache hierfür ist in dem höheren Fixierungsvermögen der aus den oben genannten Bestandteilen hervorgegangenen Kolloide für organische Substanzen zu sehen. Im niederschlagsreichen und kühlen Klima des Hohen Vogelsbergs haben sich demnach Unterschiede in der petrographischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials der Böden auf die organische Substanz ausgewirkt, was durch die detaillierte Erfassung der wesentlichen Komponenten der organischen Substanz nachgewiesen werden konnte.

Die Lockerbraunerden weisen quantitative und qualitative Unterschiede des Humus auf. Trotz des gleichen Ausgangsmaterials und Klimas sowie ähnlicher Vegetation (Nutzung) unterscheidet sich die organische Substanz der Humosen Lockerbraunerde von der der Typischen Lockerbraunerde durch folgende Eigenschaften: Höherer Anteil am Gesamt-C und Huminsäuren, höhere Löslichkeit und Farbkraft der Huminstoffe, niedrigere Extinktionskoeffizienten und relativ enge C/N-Verhältnisse sowie durch das Fehlen von P_g -Huminsäuren. Festzuhalten ist noch, dass die organische Substanz des unteren Abschnitts der Lockerbraunerde vom Taufstein in ihrer Zusammensetzung grosse Ähnlichkeit mit der Humosen Lockerbraunerde besitzt.

Da von SEMMEL (1968) ein ähnliches, in der Nähe liegendes Bodenprofil als "sehr saure Schwarzerde" bezeichnet wurde, lag es nahe, die chemischen Eigenschaften der organischen Substanz der Humosen Lockerbraunerde mit Schwarzerden zu vergleichen. Die orga-

nische Substanz der Humosen Lockerbraunerde weist jedoch nicht, wie zu erwarten war, die typischen chemischen Eigenschaften der Schwarzerde oder degradiierter Schwarzerde auf. So fehlen z.B. die Ca-Humate; ausserdem sind die Huminsäure/Fulvosäureverhältnisse wesentlich niedriger und die Löslichkeit der Huminstoffe ist sehr hoch.

Als Ursache der intensiven Humusakkumulation wird eine Grasdecke in Betracht gezogen. Dies wird durch briefliche Mitteilungen von Herrn Landforstmeister IMMEL (1972) und durch Untersuchungen von STECKHAN (1961) bestätigt. Nach Untersuchungen von POETSCH (1973) ist in der Humosen Lockerbraunerde ein hoher Anteil an Bioopal (ca. 7 % des Mittelschluffs) vorhanden, der ebenfalls auf ehemaliges Grasland hinweist. Da der Humus im unteren Abschnitt der Lockerbraunerde vom Taufstein die gleiche Zusammensetzung hat, kann angenommen werden, dass dieser Profiltail ebenfalls unter einer Grasdecke gebildet wurde.

Die Humose Lockerbraunerde und die Lockerbraunerde vom Taufstein haben beide im Decksediment einen Horizont, der dunkler ist als die darüberliegenden humosen Horizonte. In diesem dunklen Horizont ist weder eine Anreicherung von Humusstoffen noch von Fulvosäuren festzustellen. Die HS/FS-Verhältnisse, die Humifizierungszahlen und die optische Dichte der Huminsäuren sind im dunklen Horizont (fA_h - bzw. A_{h3} -Horizont) höher als in den angrenzenden Horizonten, die Farbkoeffizienten sind jedoch niedriger. Eine Anreicherung von Sesquioxiden konnte in diesem Horizont und den

darunterliegenden Horizonten nicht festgestellt werden. Somit ist eine Verlagerung von Huminstoffen - etwa wie bei der Podsolierung - auszuschliessen. In der Humosen Lockerbraunerde nehmen die Daten, die zur Bewertung der Humusqualität herangezogen werden, vom A_{h1} -über den A_{h2} -zum A_{h3} -Horizont kontinuierlich zu. Hinsichtlich des P_g -Huminsäuretyps zeigen die oben genannten Horizonte keine Unterschiede. Diese Ergebnisse führen zu der Annahme, dass die Aufhellung des A_{h2} -Horizonts der Humosen Lockerbraunerde auf die Depolymerisation der Huminsäuren zurückzuführen ist. Im Gegensatz zur allmählichen Zunahme in der Humosen Lockerbraunerde nehmen in der Lockerbraunerde vom Taufstein das HS/FS-Verhältnis, die Humifizierungszahl sowie die optische Dichte und der C-Gehalt der Huminsäuren vom A_{hB_v} - zum fA_h -Horizont plötzlich zu und die Farbkoeffizienten zeigen eine ähnlich grosse Abnahme. Ausserdem ist der Anteil der extrahierbaren Huminstoffe an C_t im fA_h -höher als im A_{hB_v} -Horizont und der Anteil der in Säure extrahierbaren Huminstoffe niedriger. Eindeutigere Unterschiede zwischen dem fA_h -und dem A_{hB_v} -Horizont bestehen ebenfalls hinsichtlich des Typs der Huminsäuren, da die Huminsäuren des A_{hB_v} -Horizonts sehr ausgeprägte Maxima im Bereich 450, 570 und 615 nm zeigen. Diese auffallenden Unterschiede in der Zusammensetzung führen zu der Annahme, dass es sich bei den Huminstoffen der betreffenden Horizonte um sehr verschiedenartige Humusbildungen handelt. Ähnliche Merkmale wurden auch von BUDINA (1961), CZERNEY (1965), KUZMIN (1969), TYULIN & ROSSOKHINA (1968) und DOBROVALSKY (1970) an Humushorizonten subfossiler Böden festgestellt. Der subfossile Charakter des fA_h -Horizonts des

Taufstein-Profils wurde auch durch eine ^{14}C -Datierung bestätigt. Nach der von SEHARPENSEEL (1973) im Institut für Bodenkunde der Universität Bonn durchgeführten Bestimmung hat der A_{hB_v} -Horizont ein Alter von 2540 ± 70 und der fA_h -Horizont ein Alter von 5360 ± 80 v.h. Da die zur Datierung benutzten Horizonte zum heutigen Wurzelraum gehören, ist mit einem höheren Alter der Proben zu rechnen. Aus den ^{14}C -Bestimmungen kann daher nur geschlossen werden, dass zwischen beiden Horizonten ein Altersunterschied besteht und sie ein höheres Alter als das angegebene haben.

Die Untersuchungen haben also ergeben, dass sich infolge Zufuhr neuer Humin-Streustoffe und von Wurzelausscheidungen das Erkennen reliktsicher Bodenhorizonte zwar schwierig gestaltet, aber nicht unmöglich ist.

Nach ORLOV (1968) nimmt der Anteil der P_g -Fraktion an Huminstoffen nach der Kultivierung ab, was sich an einem Verschwinden der Maxima bemerkbar macht. Dennoch zeigen die Huminsäuren des Ackerprofils Rebgeshain sehr ausgeprägte Maxima. Auch die anderen Werte (HS/FS-Verhältnisse, Humifizierungszahl, optische Dichte der Huminsäuren, $Q_{4/6}$ -Wert und die Extrahierbarkeit der Huminstoffe) ähneln denen der Waldprofile. Somit kann angenommen werden, dass der Boden früher forstlich genutzt wurde, worauf auch die Flurbezeichnung "Buchenäcker" hinweist. Wegen der gegenüber anderen Profilen ziemlich hohen Basensättigung mit Ca und Mg waren dunkle Ca-Humate, die sich bei den Extinktionsmessungen bemerkbar machen, zu erwarten. Dagegen liegen die Humifizierungszahlen und die Werte der optischen Dichte niedriger, die optischen Koeffizienten der

Huminsäuren aber höher als bei den Waldprofilen. Es könnte daraus geschlossen werden, dass der obere Abschnitt des Profils von Rebgeshain nach der Rodung des Waldes abgetragen wurde. Der IIfC_V -Horizont des Profils unterscheidet sich von dem darüberliegenden Horizont durch eine Zunahme des C-Gehalts und des HS/FS-Verhältnisses. Da auch keine Verlagerungsvorgänge erkennbar sind, wird aufgrund dieser Werte vermutet, dass der IIfC_V -Horizont relik-tischen Charakter hat.

Zwischen den untersuchten Lockerbraunerden und Sauren Braunerden könnten hinsichtlich der Zusammensetzung der organischen Substanz keine nennenswerten Unterschiede festgestellt werden. Beiden Profilgruppen gemeinsam ist u.a. die hohe Löslichkeit der Huminstoffe in 0,1 n NaOH (ohne Decalcifizierung), die starke Dominanz der Fulvosäuren und die niedrige optische Dichte der Huminsäuren. Da bisher derart differenzierte Untersuchungen an Sauren Braunerden noch nicht durchgeführt worden sind, muss ein Vergleich der im vorgehenden erläuterten Ergebnisse mit ähnlichen Böden unterbleiben. Ein begrenzter Vergleich ist jedoch mit Böden aus der ČSSR (NEMEČEK & POSPIŠIL 1966) und der UdSSR (u.a. PONOMAREVA 1962, KONONOVA 1966, GLEBOVA 1966) möglich, wo die organische Substanz Saurer Braunerden untersucht wurde. Die an den Böden des Hohen Vogelsbergs erzielten Ergebnisse stimmen mit denen der genannten Autoren überein. Nach der Humuszusammensetzung könnten die Lockerbraunerden den Sauren Braunerden zugeordnet werden. Trotz gleicher Zusammensetzung unterscheiden sich jedoch die Lockerbraunerden durch ihren höheren Humusgehalt von den Sauren

Braunerden. Besonders stark ist die Humusakkumulation in den oberen Horizonten, was auf die schwache Mikroorganismen-tätigkeit und wahrscheinlich auf Sesquioxide sowie sorptionsaktive Tonminerale zurückzuführen ist. Auf eine starke Humusakkumulation bei den Lockerbraunerden haben bereits KICKUTH und Mitarb. (1965) und MEYER & SAKR (1960) hingewiesen. Als Ursache wird das spezifische Fixierungsvermögen des Mineralkörpers, insbesondere der Allophane angesehen.

Abschliessend sei noch die Frage erörtert, ob die Untersuchungen der organischen Substanz Anhaltspunkte für die Klassifizierung und Bezeichnung der untersuchten Böden ergeben. Es liegt nahe, die Lockerbraunerden u.a. wegen ihres hohen Humusgehalts, ihres Gefüges und der hohen Porosität mit den Andosolen zu vergleichen. Die Andosole zeigen im A-Horizont eine Humusakkumulation, die in erster Linie von der Menge und Art der Allophane und der Sesquioxide, insbesondere des Al hervorgerufen wird (HARADA 1965, 1957, TAN 1966, BELOUSOVA & TONKONOGOW 1967, SHINAGAWA 1962, zit. b. MONASTERIO 1969). Die Humusform der Andosole ist sehr häufig Mull und die HS/FS-Verhältnisse liegen meistens über 1. Zwar weisen auch die Lockerbraunerden in den A_n -Horizonten einen hohen Gehalt an organischer Substanz auf; dafür ist aber in erster Linie die schwache Mineralisierung infolge eingeschränkter Mikroorganismen-tätigkeit als Ursache anzusehen und nicht die Allophane und Sesquioxide. Die A_n -Horizonte (0-5 cm) haben trotz der niedrigen Gehalte an Sesquioxiden und NaOH-löslichen amorphen anorganischen Substanzen im Gegensatz zu den tieferen Horizonten einen sehr hohen C-Gehalt. Dieser ist neben den oben genannten Ursachen

teilweise auf die biologisch-mechanische Vermischung des Auflagehumus zurückzuführen. Allerdings ist zu erwarten, dass in den unteren Horizonten Allophane und Sesquioxide eine grössere Rolle spielen, denn trotz schwacher biologischer Tätigkeit liegt der Humusgehalt auch in diesen Horizonten höher als der der Sauren Braunerden. Jedoch ist eine Humusakkumulation wie bei den Andosolen nicht zu erkennen. Auch durch die moderartige Humusform und die niedrigen HS/FS-Verhältnisse unterscheiden sich die Lockerbraunerden von den Andosolen. Das Fehlen ausreichender Daten über die organische Substanz der Andosole sowie die Klima- und Vegetationsunterschiede der Bildungsräume beider Bodentypen machen einen differenzierten Vergleich zwischen dem Humus der Lockerbraunerden und der Andosole unmöglich; sofern überhaupt eingehende Untersuchungen über die organische Substanz der Andosole vorliegen, ist deren Benutzung wegen der verschiedenen Untersuchungsverfahren schwierig.

Abschliessend sei hervorgehoben, dass durch die erzielten Ergebnisse keine Kriterien gewonnen wurden, die einer Zuordnung der untersuchten Böden zu den Braunerden entgegenstehen. Die für die Klassifikation wichtigen Eigenschaften der Lockerbraunerden betreffen weniger die organische Substanz als den Mineralkörper, der jedoch nicht Gegenstand vorliegender Arbeit war (Vgl. die Untersuchungen von HILGER und POETSCH). Aufgrund der erzielten Ergebnisse sind die Böden mit der Bezeichnung "Lockerbraunerde" zutreffend charakterisiert.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Im Hohen Vogelsberg kommen Braunerden vor, die wegen ihrer besonderen Eigenschaften als Lockerbraunerden bezeichnet werden. Der Zweck dieser Arbeit war, die Eigenschaften der organischen Substanz dieser Böden und der mit diesen vergesellschafteten Sauren Braunerden zu charakterisieren.

Es wurden folgende Profile untersucht:

1. Humose Lockerbraunerde von der "Heide" unter Fichte
2. Lockerbraunerde am Taufstein unter Buche
3. Typische Lockerbraunerde vom Köhlerwald unter Fichte
4. Saure Braunerde am Bilstein unter Buche
5. Saure Braunerde von Rebgeshain unter Acker.

Zur Charakterisierung der organischen Substanz wurde die Fraktionierung, die Humifizierungszahl und -art, die optischen Eigenschaften und der C-Gehalt der Huminsäuren und die organo-mineralischen Kolloide herangezogen.

Für die Interpretation der Ergebnisse der speziellen Untersuchungen an der organischen Substanz und für die Kennzeichnung der Böden und ihrer Besonderheiten erwiesen sich die allgemein üblichen Bestimmungen, so z.B. Korngrößenverteilung, Austauschkapazität und pedogene Oxide als wertvoll. Die wichtigsten Ergebnisse sind im folgenden zusammengefasst:

Nach der Korngrößenverteilung unterscheiden sich die Lockerbraunerden aus Decksediment (utL) und dem darunter folgenden Solifluktionsschutt (slU, ~~sl~~L, suL) durch höheren Tongehalt (bis 42 %) und niedrigen Sandgehalt (bis 9 %). Hervorzuheben ist die Dominanz des Mittelschluffs in der Gesamtschlufffraktion des Decksediments, während im Solifluktionsschutt der Grobschluff überwiegt.

Die Austauschkapazität des A_h -Horizonts der Lockerbraunerden ist höher (64 mval/100 g Boden) als die des A_p - bzw. A_h -Horizonts der Sauren Braunerden (24-26 mval/100 g Boden), was zum grössten Teil auf die unterschiedliche Menge der organischen Substanz zurückzuführen ist. Im Unterboden der Lockerbraunerden wird die Höhe der Austauschkapazität entscheidend von der Art und Menge der anorganischen Kolloide bestimmt. Sowohl die Lockerbraunerden als auch die Sauren Braunerden weisen im Unterboden ähnliche Austauschkapazitätswerte auf. Die V-Werte schwanken bei den Lockerbraunerden zwischen 1,1 und 17,1, bei den Sauren Braunerden vom Bilstein zwischen 14,9 und 21, und von Rebgeshain zwischen 46,5 und 51,4 mval/100 g Boden.

Die Gehalte an freiem Fe sind in den Lockerbraunerden und Sauren Braunerden etwa gleich hoch. Dagegen weist das Decksediment höhere Gehalte an dithionit- und oxalatlöslichem Al auf, was durch die Verwitterungsprodukte des Bimstuffs und basaltischen Materials bedingt ist. Bei dieser Verwitterung dürften die Huminstoffe, insbesondere niederpolymeren organische Verbindungen in grossem Ausmass beteiligt sein; wie KONONOVA und Mitarb. (1964) analytisch nachweisen konnten, sind diese Stoffe in der Lage, Al und Fe aus

den mineralischen Bestandteilen zu lösen und gleichzeitig zu binden. In allen Profilen hat eine Verlagerung von Al stattgefunden, dagegen ist eine Verlagerung von Fe in geringem Ausmass nur im Profil der Typischen Lockerbraunerde vom Köhlerwald nachzuweisen, was sehr wahrscheinlich auf den Einfluss des fast 100-jährigen Fichtenreinbestandes zurückzuführen ist. Nach der Tiefenfunktion der Sesquioxide könnten die 5 untersuchten Böden als Kryptopodsol bezeichnet werden. FIEDLER & LENTSCHIG (1967) vertreten jedoch die Ansicht, dass die alleinige Al-Verlagerung für Saure Braunerden typisch sei.

Die Lockerbraunerden und Sauren Braunerden weisen die für saure Standorte typische Humuszusammensetzung auf. Wegen der ungünstigen Humifizierungsbedingungen (saure Reaktion und starke Durchfeuchtung) werden die Polymerisationsvorgänge gehemmt. Daher verbleiben die Huminstoffe in einem frühen Entwicklungsstadium und es entstehen vorwiegend niederepolymere Verbindungen geringen Vernetzungsgrades. Daher dominieren die Fulvosäuren stark über die Huminsäuren. Die Huminstoffe zeigen eine hohe Löslichkeit und ein sehr grosser Anteil ist schon bereits durch eine direkte NaOH-Behandlung löslich (freie und an mobile Sesquioxide gebundene Huminstoffe). Die Huminsäuren haben einen geringen C-Gehalt, eine niedrige optische Dichte und bestehen hauptsächlich aus Braunhuminsäuren. Die Huminstoffe, insbesondere die Huminsäuren, nehmen mit der Tiefe stark ab als Folge der schwachen biologischen Tätigkeit.

Trotz gleicher Humuszusammensetzung unterscheiden sich die Lockerbraunerden durch ihren höheren Gehalt an organischer Substanz von den Sauren Braunerden, was eine Folge der schwachen Mineralisierung bzw. der Beimengung von Bims und basaltischer Bestandteile ist.

Hinsichtlich der organischen Substanz bestehen zwischen den Lockerbraunerden deutliche Unterschiede, die auf die ursprüngliche Vegetation sowie auf Substratumlagerungen zurückzuführen sind. Die Unterschiede in der Humuszusammensetzung und in den Eigenschaften der Huminsäuren der Humosen Lockerbraunerde sind auf die ursprünglich an diesem Standort vorhandene Grasdecke und die damit verbundene Humifizierung, die die Tendenz zur Mullbildung hat, zurückzuführen.

Die Untersuchungen an der Lockerbraunerde vom Taufstein ergaben, dass der untere Profilabschnitt reliktschen Charakter hat und am Anfang der Bildungszeit des Decksediments entstanden ist.

Die Ergebnisse von der ackerbaulich genutzten Sauren Braunerde von Rebgeshain lassen den Schluss zu, dass dieser Boden früher bewaldet war.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass mit der Bezeichnung "Lockerbraunerde" die Stellung dieser Böden im deutschen Klassifikationssystem gekennzeichnet ist und ausserdem ihre besonderen Eigenschaften ausreichend zum Ausdruck kommen.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erzielten Resultate zeigen,

dass die differenzierten Untersuchungen an der organischen Substanz im Gegensatz zu Einzelbestimmungen wie das HS/FS-Verhältnis oder das C/N-Verhältnis viele Gesetzmässigkeiten ihrer Bildung und Natur erkennen lassen. Mit Hilfe solcher spezieller Untersuchungen können pedogenetische Prozesse erkannt, der Einfluss des unterschiedlichen Ausgangsmaterials erfasst und Rückschlüsse auf die ehemalige Vegetation gezogen werden. Ausserdem bietet die ausführlich untersuchte organische Substanz eine wichtige Hilfe bei der Bodendiagnostik.

7. LITERATUR

- ALEXANDROVA, L.N.: Über die Verwendung von $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ zur Extraktion freier Humusstoffe und ihrer organo-mineralischen Verbindungen aus dem Boden.- Pochv. 2, 90-97 (1960 a) (russ.)
- ALEXANDROVA, L.N.: On the Composition of Humus Substances and the Nature of Organo-Mineral Colloids in Soil.- 7th Intern. Cong. Soil Sci. Vol. II, 74-81 Madison (1960b)
- ALEXANDROVA, L.N.: Organo-Mineral Humic Acid Derivates and Methods of Studying them.- Sov. Soil Sci. 2, 903-913 (1967)
- ALEXANDROVA, L.N. und NAD, M.: Über die Natur der organo-mineralischen Kolloide und Methoden ihrer Untersuchung.- Pochv. 10, 21-27 (1958) (russ.)
- ALEXANDROVA, L.N., YURLOVA, D.V. und LOBITSKAYA, L.V.: The Distribution and the Composition of the Humus Substances and their Organo-Mineral Derivates in the Granulometric Fractions in some Types of Soils.- 8th Intern. Cong. of Soil Sci. Vol II, 109-116 Bucharest (1964)
- ALTMANNBERGER, K.P.: Eigenschaften und Genese von Tschernosemen in der nördlichen Wetterau.- Diss. Giessen 1969
- ARSHAD, M.A. und LOWE, L.E.: Fractionation and Characterization of Naturally Occurring Organo-Clay Complexes.- Proc. Soil Sci. Soc. Am. 30, 731-735 (1966)
- ATKINSON, H.S. und TURNER, N.J.: Soil Colloids II: Separation by Peptization.- Soil Sci. 57, 233-241 (1944)

- BARANOVSKAYA, V.A.: Comparative Study of Methods of Determining the Composition of Soil Humus and Their Statistical Evaluation.- Sov. Soil Sci. 2, 1157-1160 (1966)
- BARGON, E.: Über die Entwicklung von Lockerbraunerden aus Solifluktionsmaterial im vorderen Odenwald.- Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 90, 229-243 (1960)
- BELOUSOVA, N.I. und TONKONOGOW, V.D.: Untersuchung der Einwirkung von aus Waldstreu extrahierten Fulvosäuren auf vulkanische Aschen.- Pochv. 5, 43-55 (1968) (russ.)
- BERNAT, J.: Humusstoffe der primitiven Böden.- Studies about Humus, 15-25, Praha 1962
- BEUTELSPACHER, H.: Wechselwirkung zwischen anorganischen und organischen Kolloiden des Bodens.- Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 69, 108-115 (1955)
- BLUME, H.-P.: Die Charakterisierung von Humuskörpern durch Streu- und Humus-Stoffgruppenanalyse.- Z.-Pflanzenern. Düng. Bodenkunde 111, 95-113 (1965)
- BLUME, H.-P. und SCHWERTMANN, W.: Genetic Evaluation of Profile Distribution of Al, Fe and Mn Oxides.- Soil. Sci. Soc. Am. Proc. Vol 33, 438-444 (1969)
- BORATINSKY, K. und WILK, K.: Investigations in Complex Use of Different Extractions (NaF , $(\text{NH}_4)_2\text{F}_2$, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, NaOH) for Extraction of Organic Complexes from Soil.- Studies about Humus 27-42, Praha 1962

- BRUCKERT, S.: Distribution of Watersoluble Acids in some Forest Soil Profiles - Cr. Hebd. Seanc. Acad. Sci. 263 D, 1572-1575 (1966) (franz.). - Ref. in: Soils. Fert. 30, 843 (1967)
- BRUNNACKER, K.: Die Lockerbraunerden im Bayrischen Wald. - Geol. Bl. No. Bayern 15-2, 65-76, Erlangen 1965
- BRYDON, J.E. und Sowden, F.J.: A Study of the Clay-Humus Complexes of a Chernozemic and a Podsol Soil. - Can. J. of Soil Sci. 39, 136-142 (1959)
- BUDINA, L.P.: Graue Waldböden mit einem zweiten Humushorizont bei periodisch lang anhaltender Gefrornis im Krasnojarskdistrikt. - Pochv. 12, 29-39 (1961) (russ.)
- CHICHESTER, F.W.: Nitrogen in Soil Organo-Mineral Sedimentation Fractions. - Soil Sci. 107, 356-363 (1969) (engl.)
- CORRENS, C.W.: Einführung in die Mineralogie. - Berlin 1949
- CZERNEY, P.: Über einige Eigenschaften von Fichtenumus. - Düngung und Melioration in der Forstwirtschaft, Tagungsberichte 66, 93-104 (1964), DDR dt. Akad. der Landwirtschaftswiss. zu Berlin
- CZERNEY, P.: Bodenkundliche Untersuchungen an einer fossilen und rezenten Schwarzerde. - Alb. Thaer Archiv 9, 867-881 (1965)
- DOBROVOLSKY, G.V. und Mitarb.: Genesis and Age of Secondary Podsollic Soils in West Siberia. - Sov. Soil. Sci. 2, 291-293 (1970)

- DORMAAR, J.F.: Fractionation of the Humus of Some Chernozem Soils of Southern Alberta.-Can.J.Soil Sci. 44, 232-236 (1964)
- DUBACH, P., MEHTA, N.C. und DEUEL, H.: Schonende Extraktion von Huminstoffen und Isolierung der Fulvosäurenfraktion aus verschiedenen Bodentypen.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 102, 1-7 (1963)
- DUDAS, M.J. und PAWLUK, S.: Natürliches Auftreten von organo-mineralischen Komplexen in typischen dunklen Tschernosemen.- Geoderma 3, 5-17 (1969/70)
- EVANS, L.T. und RUSSELL, E.-W.: The Adsorption of Humic and Fulvic Acids by Clays.- J. of Soil Sci. 10, 119-132 (1959)
- EVSEVA, R.P. und Mitarb.: Auftrennung wasserlöslicher organischer Substanzen der Bodenlösung aus A(0)- und A(1)-Horizont eines Gley-Podsols nach ihrem Mol-Gewicht an Sephadex G-25.-Izv.Tmiryazev.s.-kh.Akad.3, 124-131 (1968) (russ.)
- FIEDLER, H.J.: Die Untersuchung der Böden, Bd. 2, Dresden und Leipzig 1965
- FIEDLER, H.J. und LENTSCHIG, S.: Die Bedeutung der freien Oxide für die Systematik der Mittelgebirgsbraunerden.- Chemie der Erde 26, 93-117 (1967)
- FIEDLER, H.J. und REISSIG, H.: Lehrbuch der Bodenkunde.-Jena 1964
- FIRBAS, F.: Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlicher Alpen II. Waldgeschichte der einzelnen Landschaften.- Jena 1952
- FIRSOVA, V.P. und RZHANNIKOVA, E.G.: Brown Forest Soils on the

- Granites of the Central Urals.- Sov.Soil Sci. 1, 709-719 (1968)
- FLAIG,W.: Contribution à la connaissance de la constitution et de la synthèse des acides humiques.- Science du Sol 2 ,39-72 (1970)
- FLAIG,W.: Einige Eigenschaften der organischen Substanz bei der Bodenbildung.- Landbauforschung Völkenrode,Braunschweig,19.Jg.,1969,H.2,53-66
- FORD,G.W.,GREENLAND,D.J. und DADES,J.M.: Separation of the Light Fraction from Soils by Ultrasonic Dispersion in Halogenated Hydrocarbons Containing a Surfactant.- J.of Soil Sci. 20, 291-296 (1969)
- FREYTAG,H.E.: Ein Beitrag zur Kenntnis der Huminsäuresynthese 1.Teil.- Alb.Thäer Archiv 5, 584-603 (1961)
- GÄTKE,C.I.R.: Untersuchungen zur substanztypischen Humusextraktion.- Alb.Thäer Archiv 5, 256-265 (1961)
- GASCHO,G.J. und STEVENSON,F.J.: An Improved Method for Extracting Organic Matter from Soil.- Proc. Soil Sci.Soc.Am. 32, 117-119 (1968) (engl.)
- GLEBOVA,G.L.: Description of the Humus of Brown Forest Soils in the Southwestern Part of Smolensk Oblast.- Sov.Soil Sci. 2, 1559-1568 (1966)
- GREENLAND,D.J.: Interaction between Clays and Organic Compounds in Soils Part 1:Mechanisms of Interaction between Clays and Defined Organic Compounds.- Soils and Fert. Vol XXVIII 415-425 (1965 a)
- GREENLAND,D.S.: Interaction between Clays and Organic Compounds

- in Soils Part 2: Adsorption of Soil Organic Compounds and its Effect on Soil Properties.- Soil and Fert. Vol. 28 ,521-532 (1965 b)
- GREENLAND,D.J.: Interactions between Humic and Fulvic Acids and Clays.- Soil Sci. Vol. III ,34-41 (1971)
- GREENLAND,D.J. und FORD,G.W.: Separation of Partially Humified Organic Materials from Soils by Ultrasonic Dispersion.- 8th Intern.Cong. of Soil Sci. Vol II ,137-148,Bucharest 1964
- GRIMME,H.und WIECHMANN,H.: Eine Methode zur Extraktion organisch gebundenen Fe aus Böden.- Z.Pflanzenern.Düng. Bodenk. 122, 268-278 (1969)
- HARADA,M.: Some Characteristics of the Humus in Soil Types Part 1: Solubility of Humus.- Soil Plant and Nutr.1 3-4 (1955)
- HARADA,M.: Some Characteristics of the Humus in Soil Types Part 2: Distribution of Humus in Soil Profiles.- Soil Plant and Nutr. 2, 35-38 (1956)
- HARADA,M.: Some Characteristics of the Humus in Soil Types Part 3: Composition Groups of Humus.- Soil Plant and Nutr. 3, 73-79 (1957)
- HASHIMOTO,J. und JACKSON,N.L.: Clays and Clay Minerals,7th Cong. 102-113,Pergamon Press New York,1960 Monograph No.5
- HESS,C.: Über die Natur der Bindung des Humus in Schwarzerden und schwarzerdeartigen Böden,insbesondere in den Tirsen Marokkos.- Diss. Göttingen 1965

- HILGER-ALEXANDROU, S.: Untersuchungen über die tonmineralogische Zusammensetzung der Lockerbraunerden-ein Beitrag zu ihrer Genese.- Diss.-Manuskript, Giessen 1973
- IMMEL, H.: schriftliche, persönliche Mitteilung vom November 1972
- HOFFMANN, F.: Untersuchungen im "Mecklenburgischen Küstenraum" über den Einfluss der Vegetation und der Bodeneigenschaften auf die organische Substanz des Bodens.- Alb. Thaer Archiv 10, 1051-1069 (1966)
- HUGENROTH, P., MEYER, B. und SAKR, R.: Mikromorphologie der Allophanbildung in sauren Lockerbraunerden aus Basalt-De-Tritur-Löß-Mischsedimenten im Vogelsberg.- Göttinger bodenk. Berichte 14, 107-125 (1970)
- JUNG, L. und NEMETH, K.: Kationennachlieferung einiger Relikt-Rot-erden aus Basalten im westlichen Vogelsberg.- Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 122, 33-42 (1969)
- KANNO, I. und ARIMURA, S.: Dispersion of Humic Allophane Soils with Supersonic Vibration.- Soil Sci. and Plant Nutr. 13, 165-170 (1967)
- KASATOCHKIN, V. I., KONONOVA, M. M., LARINA, N. K., EGOROVA, O. I.: Theses "Spectral and X-Ray Investigation of Chemical Structure of Humic Substances of Soil"- 8th Intern. Cong. of Soil Sci. Vol. II, 81-86 Bucharest 1964
- KAURICHEW, I. S., IVANOVA, T. N. und YE M. NOZDRUNOVA, K. A.: Gehalt an niedermolekularen organischen Säuren in der wasserlöslichen organischen Substanz von Böden.- Pochv. 3, 27-35 (1963) (russ.)

- KHAN, S.H. und ZIECHMANN, W.: Physikalisch-Chemische Untersuchungen an chemisch veränderten Huminstoffen.- Göttinger bodenkundl.Berichte 5, 1-73 (1958)
- KICKUTH, R., MEYER, B. und SCHONLAU, H.J.: Die divergierende Humus-Metabolik benachbarter Saurer Braunerden und Rend-sinen unter Wald im Licht organischer Stoffgruppen-Untersuchungen.- Göttinger bodenk.Berichte 8, 1-61 (1969)
- KLAMROTH, B.: Beitrag zur Charakterisierung der Huminsäuren des Bodens.- Diss. Göttingen 1954
- KLEINHEMPEL, D.: Ein Beitrag zur Frage der Fraktion des organisch gebundenen Fe im Boden.- Alb.Thaer Archiv 10, 595-568 (1966)
- KLEIST, H. und MÜCKE, D.: Optische Untersuchungen an Huminsäuren.- Alb.Thaer Archiv 10, 471-484 (1966)
- KOBERG, H.: Untersuchung über die chemische und morphologische Charakterisierbarkeit verschiedener Waldhumustypen.- Diss. Wien 1962
- KOBO, K. und TATSUKAWA, R.: On the Colored Material of Fulvic Acid-Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 84, 137-147 (1959)
- KONONOVA, M.M.: Die Humusstoffe des Bodens.- Berlin 1958
- KONONOVA, M.M.: Soil Organic Matter.- 2nd Edition, Pergamon Press Oxford, London, Edinburgh, New York, Toronto, Sydney, Paris Braunschweig 1966
- KONONOVA, M.M.: Methods of Determining Humus Composition and Their Rationalization.- Sov.Soil Sci. 2, 894-903 (1967)

- KONONOVA, M.M., ALEXANDROVA, I.W., BELCHIKOVA, N.P. und TITOVA, N.A.:
Die Besonderheiten des Humusbildungsprozesses in
verschiedenen Bodentypen.- 8th Intern. Cong. of
Soil Sci. Bucharest-Romania 1964 , 101-108
- KONONOVA, M.M. und BELCHIKOVA, N.P.: Schnellmethoden zur Bestimmung
der Humuszusammensetzung von Mineralböden.- Pochv.
10, 75-87 (1961) (russ.)
- KUMADA, K.: Studies on the Colour of Humic Acids Part 1: On the
Concepts of Humic Substances and Humification.-
Soil Sci. and Plant Nutr. 11-12, 151-156 (1965/66)
- KUMADA, K. und SATO, O.: Chromatographic Separation of Green Humic
from Podzol Humus.- Soil Sci. and Plant Nutr. 8,
31-33 (1962)
- KUMADA, K., SATO, O., OHSUMI, Y. und OHTA, S.: Humus Composition of
Mountain Soils in Central Japan with Special Re-
ference to the Distribution of P-Type Humic Acid.-
Soil Sci. and Plant Nutr. 13, 151-158 (1967)
- KUNDLER, P.: Zur Charakterisierung und Systematik der Braunen
Waldböden.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 78, 209-
232- (1957)
- KUNDLER, P.: Berücksichtigung der Übergänge zwischen den Braunerden
und Podsolen in der Bodensystematik.- Z.Pflanzen-
ern.Düng.Bodenk. 96, 62-70 (1962)
- KUZMIN, V.A.: Organic Matter of Separates in the Sod-Podzolic Soils
with a Second Humus Horizon in the Oka-Angara In-
terfluve.- Sov.Soil Sci. 1, 278-285 (1969)

- KYUMA,K.,HUSSAIN,A. und KAWAGUCHI,K.: The Nature of Organic Matter in Soil Organo-Mineral Complexes.- Soil Sci. and Plant Nutr. 15, 149-155 (1969)
- KYUMA,K. und KAWAGUCHI,K.: Oxidative Changes of Polyphenols as Influenced by Allophane. - Proc. Soil Sci. Am. 28 371-374 (1964)
- LADD,S.N.: The Extinction Coefficients of Soil Humic Acids Fractionated by "Sephadex 'Gel" Filtration.- Soil Sci. 107, 303-306 (1969)
- LEHMANN,H.,MEYER,B. und SCHONLAU,H.J.: Die divergierende Humus-Metabolik benachbarter Saurer Braunerden und Rend-sinen unter Wald im Licht standortbiologischer Untersuchungen.- Göttinger bodenk.Berichte 9, 1- 63 (1969)
- LEVESQUE,M. und SCHNITZER,M.: Die Wirkung der NaOH-Konzentration auf die Extraktion von organischer Substanz und anorganischen Bestandteilen aus einem Boden.- Can.J.Soil Sci. 46, 7-12 (1966)
- LICHTERBERG,G.S.: Über die Auswertung von Farbquotientenmessungen an reliktschen Schwarzerden.- Mitt. d. dt. bodenk.Gesellsch. 10, 168-173 (1970)
- LOWE,L.E.: Distribution and Properties of Organic Fractions in Selected Alberta Soils.- Can.J. of Soil Sci. 49, 129-141 (1969)
- LÜDERS,R.: Altersbestimmung an einem doppelten Podsolprofil aus dem Emsland.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 94, 47-53 (1961)

- LÜTTMER, J. und JUNG, L.: Über die Eignung des $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ zur Dispergierung bei der mechanischen Bodenanalyse.-
Notizbl.hess. L.Amt f.Bodenforschung 83, 282-291
Wiesbaden 1955
- MC KEAGUE, J.A.: Humic-Fulvic-Acid Ratio, Al, Fe and C in Pyrophosphate Extracts as Criteria of A and B Horizons.-
Can.J.of Soil Sci. Vol.48, 27-35 (1968)
- MC KEAGUE, S.A., BRYDON, S.E. und MILES, N.U.: Differenzierung extrahierbarer Fe-und Al-Formen in Böden.- Proc.Soil Sci.Soc.Am. 35, 33-38 (1971) (engl.)
- MARTIN-MARTINEZ, P.: Fraktionierung von Huminstoffen eines Podsoles durch Dialyse.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 116, 89-96 (1967)
- MAX, W. und BUCH, V.: Vergleichende chemische und mikromorphologische Untersuchungen bei der Extrahierung von Huminstoffen aus Waldböden.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 97, 255-265 (1962)
- MEHLICH, A.: Determination of Cation-and Anionexchange Properties of Soils.- Soil Sci. 66, 429-445 (1948)
- MEHLICH, A.: Charge Characterization of Soils.- 7th Intern.Congr. of Soil Sci. 2, 292-302 (1960)
- MEHRA, G.F. und JACKSON, M.L.: Iron Oxide Removal from Soils and Clays by a Dithionite-Citrate System Buffered with Sodium-Bicarbonate.- Clays Clay Miner. 5, 317-327 (1960)

- MEYER, B. und SAKR, R.: Aggregate, Dispergierungs-Resistenz und Vorbehandlungsmethoden zur Korngrößen-Analyse saurer allophan-haltiger Lockerbraunerden.- Göttinger bodenk.Berichte 14, 85-105 (1970)
- MEYER, B. und SAKR, R.: Menge, Sitz und Verteilung der extrahierbaren Fe-, Al-, SiO_2 - und Humus-Anteile und ihr Einfluss auf die Austausch-Eigenschaften von typischen sauren Lockerbraunerden.- Göttinger bodenk.Berichte 14, 49-83 (1970)
- MEYER, F.H.: Vergleichende Mikrobiologie und Mikromorphologie der Humusbildung eines Buchen- und Fichtenbestandes auf Basaltbraunerde.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 97, 234-243 (1962)
- MONASTERIO, E.D.: Untersuchungen von Böden aus Pyroblastiten (Asche und Tuffe) Chiles, Japans, Deutschlands und Italiens.- Diss. Bonn 1969
- MONNIER, G. und TURC, L.: Une méthode de fractionnement physique des matières organiques du sol-exemples d'applications.- 8th Intern.Cong.of Soil Sci. Vol.II, 129-135-Bucharest 1964
- MONNIER, G., TURC, L. und JEANSON-LEUSINANG, C.: Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol.- Ann agron. 13, 55-63 (1962)
- MORTLAND, M.M.: Clay-Organic Complexes and Interactions.- Advances in Agronomy 22, 75-117 (1970)

- MÜLLER, E.H.: Die Bildungsbedingungen von Braunerden und Parabraunerden sowie die Möglichkeiten ihrer Meliorierung.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 103, 112-128 (1963)
- NEHRING, K.: Untersuchungen an aus verschiedenen Bodentypen isolierten Huminsäuren.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 69, 71-86 (1955)
- NEHRING, K. und SCHIEMANN, R.: Untersuchung zum Humusproblem.- Z. Pflanzenern.Düng.Bodenk. 57, 193-215 (1952)
- NEHRING, K. und SCHIEMANN, R.: 2. Teil zur Kenntnis der Huminsäuren.- z. Pflanzenern.Düng.Bodenk. 57, 193-215 (1952)
- NEMEČEK, J. und POSPIŠIL, F.: Humus Content and Composition in the reclaimed Soils of the Czechoslovakian Socialist Republic.- Sov.Soil Sci. 2, 899-910 (1966)
- NORRISH, K. und TAYLOR, R.M.: The Isomorphous Replacement of Iron by Aluminium in Soil Goethites.- J. of Soil Sci. Vol. 12, 294-306 (1961)
- ORLOV, D.S.: Adsorptions- und Verteilungsspektren von Huminsäuren des P-Typs in den Böden der UdSSR.- Pochv. 10, 49-60 (1968) (russ.)
- PLAISANCE, G. und CAILLEUX, A.: Dictionnaire des Sols, 1958
- POETSCH, T.: Untersuchungen an bodenbildenden Deckschichten unter besonderer Berücksichtigung ihrer vulkanischen Komponente.- Diss.-Manuskript, Giessen 1973
- PONOMAREVA, V.V.: Zur Methodik der Untersuchung der Humuszusammensetzung nach TYURIN.- Pochv. 8, 66-71 (1957) (russ.)

- PONOMAREVA, V.V.: Die Methoden für die Trennung der Fulvosäuren und ihre chemischen Eigenschaften.- Pochv. 12, 714-723 (1947) (russ.)
- PONOMAREVA, V.V.: Die Rolle der Humussubstanzen bei der Bildung der braunen Waldböden.- Pochv. 12, 15-30 (1962) (russ.)
- PONOMAREVA, V.V.: Über die Wechselwirkung der Gruppe der Kren- und Apokrensäuren (Fulvosäuren) mit Hydroxiden von Basen.- Pochv. 11, 638-651 (1949) (russ.)
- PONOMAREVA, V.V. und PLOTNIKOVA, T.A.: Methods and Some Results of the Fractionation of Chernozem Humus.- Sov. Soil Sci. 11, 1562-1572 (1968)
- PREUSSE, H.W.: Über das Eisen in grundwasserfreien Böden unter besonderer Berücksichtigung leichtlöslicher organischer Substanzen.- Habilitationsschrift Giessen, 1969
- RENGER, M.Z.: Berechnung der Austauschkapazität der organischen und anorganischen Anteile der Böden.- Z. Pflanzen-ern Düng.Bodenk. 110, 10-26 (1965)
- ROCHUS, W.: Die Gewinnung und Stabilisierung von Huminstofffraktionen.- Mitt.d. dt.Bodenk.Gesellsch. 4, 301-306 (1965)
- ROCHUS, W.: Untersuchungen über organische Substanz und Mineralkörper in einer Abfolge von degradierten Schwarzerden aus dem Hildesheimer Raum.- Mitt.d.dt.bodenk. Gesellsch. 10, 178-181 (1970)

- RUBTSOVA, L.P. und RUDNEVA, N.: Certain Properties of Brown Forest Soils of the Carpathian Piedmont and the Plains of the Amur-River Region.- Sov. Soil Sci. 2, 1202-1210 (1967)
- ROULET, N., DUBACH, P., MEHTA, N.C., MÜLLER-VONMOOS, M. und DEUEL, H.: Verteilung der organischen Substanz und der Kohlenhydrate bei der Gewinnung "wurzelfreien" Bodenmaterials durch Schlämmsiebung.- Z.Pflanzenern.Düng. Bodenk. 121, 210-214 (1963)
- SAKR, R. und MEYER, B.: Mineral-Verwitterung und -umwandlung in typischen sauren Lockerbraunerden in einigen Mittelgebirgen Hessens.- Göttinger bodenk. Berichte 14, 1-47 (1970)
- SATO, O. und KUMADA, K.: The Chemical Nature of the Green Fraction of P Type Humic Acid.- Soil Sci. and Plant Nutr. 13, 121-122 (1963)
- SCHARPENSEEL, H.W.: Aufbau und Bindungsform der Ton-Huminsäurekomplexe -Teil I: Aufbau durch Schüttelversuche und Fällungsradiometrie.- Z.Pflanzenern.Düng. Bodenk. 114, 175-188 (1966)
- SCHARPENSEEL, H.W.: Aufbau und Bindungsform der Ton-Huminsäurekomplexe -Teil II: Hydrothermalsynthese von Ton-Huminsäure-sowie anderen anorganischen Komplexen. - Z.Pflanzenern.Düng. Bodenk. 114, 188-203 (1966)
- SCHARPENSEEL, H.W.: Aufbau und Bindungsform der Ton-H^uminsäurekomplexe -Teil III: Weitere Ergebnisse aus Fällungs-

- radiometrie und Hydratthermalsynthese.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 119,208-216 (1968)
- SCHARPENSEEL,H.W. und PIETIG,F.: Altersbestimmung von Böden durch die Radiokohlenstoffdatierungsmethode.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 122, 145-152 (1969)
- SCHARPENSEEL,H.W.,KÖNIG,E. und MENTHE,E.: Infrarot-und Differential-Thermo-Analyse an Huminsäureproben aus verschiedenen Bodentypen,aus Wurm Kot und Streptomyceten.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 106,134-150 (1964)
- SCHEFFER,F.MEYER,B. und NIEDERBUDE,E.A.: Huminstoffbildung unter katalytischer Einwirkung natürlich vorkommender Fe-Verbindungen im Modellversuch.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 87, 26-44 (1962)
- SCHEFFER,F. und SCHACHTSCHABEL,R.: Lehrbuch der Bodenkunde.- Stuttgart,1970⁷
- SCHEFFER,F. und SCHLÜTER,H.: Über Aufbau und Eigenschaften der Braun-und Grauhuminsäuren.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 84, 184-193 (1959)
- SCHEFFER,P.und ULRICH,B.: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde 3.Teil: Humus und Humusdüngung ,Stuttgart 1960²
- SCHEFFER,F.,ZIECHMANN,W.PAWELKE,G.: Über die schonende Gewinnung natürlicher Huminstoffe mit Hilfe milder organischer Lösungsmittel.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 90, 58-69 (1960)

- SCHLICHTING,E. und BLUME,H.P.: Art und Ausmass der Veränderungen des Bestandes mobiler Oxide im Boden aus jung-pleistozöнем Geschiebemergel und ihren Horizonten.- Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 96, 144-157 (1962)
- SCHLICHTING,E. und BLUME,H.P.: Bodenkundliches Praktikum.- Hamburg und Berlin 1966
- SCHLÜTER,H.: Über Sedimentsmessungen an Huminsäuren.- Z.Pflanzen-ern.Düng.Bodenk. 84, 169-174 (1959)
- SCHMITZ,H.: Beiträge zur Waldgeschichte des Vogelsbergs.- Planta 7. 653-701 (1929)
- SCHNITZER,M.: The Application of Infrared Spectroscopy to Investigations on Soil Humic Compounds.- Can.Spectroscopy 10, 121-127 (1965)
- SCHNITZER,M.: Humic-Fulvic Acid Relationship in Organic Soils and Humification of the Organic Matter in These Soils.- Can J. of Soil Sci. 47,245-250 (1967)
- SCHNITZER,M.: Reactions between Fulvic Acids,a Soil Humic Compound and Inorganic Soil Constituents.- Proc.Soil Sci. Soc.Am. 33, 75-81 (1969)
- SCHNITZER,M. und KODAMA,H.: Reactions between a podzol Acid and Na-Montmorillonite.- Soil Sci. Soc.Am.Proc. 31, 632-636 (1967)
- SCHNITZER,M. und SKINNER,S.I.M.: Organo-mineralische Wechselwirkungen in Böden: 3. Eigenschaften von Komplexen zwischen Fe und Al und der organischen Substanz, die im Labor hergestellt und aus dem Boden ex-

- trahiert wurden.- Soil Sci. 98, 197-203(1964)(engl)
- SCHNITZER,M. und SKINNER,S.I.M.:Alkali versus Acid Extraction of Organic Matter.-Soil Sci. 105,392-396 (1968)
- SCHÖNHALS,E.: Geologie und Böden der Gemarkung Rebgeshain.- Schriftenreihe d.Bodenverb.Vogelsberg,H.1.,29-38, Lauterbach 1953
- SCHÖNHALS,E.: Die Böden Hessens und ihre Nutzung.-Abh.Hess.L. Amt Bodenforsch.2, 1-288 (1954)
- SCHÖNHALS,E.: Spätglaziale äolische Ablagerungen in einigen Mittelgebirgen Hessens.- Eiszeitalter und Gegenwart 8, 5-17 (1957 a)
- SCHÖNHALS,E.: Eine äolische Ablagerung der Jüngeren Tundrenzeit im Habichtswald.-Notizbl.Hess.L.Amt Bodenforsch.85, 380-386,Wiesbaden 1957 b
- SCHÖNHALS,E.: Ein äolisches Sediment der Jüngeren Dryaszeit auf dem Laacher See-Tuff.-Fortschr.Geol.Rheinld.v. Westf.4, 337-340,Krefeld 1959
- SCHÖNHALS,E.: Spät-und nacheiszeitliche Entwicklungsstadien von Böden aus äolischen Decksedimenten in Westdeutschland.-7th Intern.Cong.Soil Sci.Vol.4,283-290, Madison 1960
- SCHÖNHALS,E.: Die bodenkundliche und standortskundliche Bedeutung der geologischen Vorgänge während des Spätglazials.- Vorträge der Tagungen der Arbeitsgem. f.Forstl.Vegetationskunde,3.Folge,Bonn 1972,S. 3-20
- SCHÖNHALS,E.: Zur Landesnatur Mittelhessens.-Mitt.d.dt.Bodenk. Ges. 17, 11-63,Göttingen 1973

- SCHÖNHALS, E.: Die Böden des Rhein-Neckar-Gebiets, ihre Veränderung durch Eingriffe des Menschen und ihre Erhaltung und Verbesserung.-Veröff.d.Akademie für Raumforschung und Landesplanung - Forschungs-und Sitzungsberichte -Raum und Natur 5, Hannover 1973 (im Druck)
- SCHÖNHALS, E. und BECKER, E.: Über Unterschiede in den Bodenbildungsprozessen während des Spät-und Postglazials in Mitteleuropa.- 8th Intern.Cong.of Soil Sci. Vol.5, Bucharest und Romania, 897-906 (1964)
- SCHUYLEMBORGH, J.von: Die Verlagerung von Sesquioxiden in Parabraunerden, Podsolen und Sauren Braunerden.- Z. Pflanzenern.Düng.Bodenk. 114, 9-12 (1966)
- SCHWERTMANN, U.: Differenzierung der Fe-Oxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung.-Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 105, 194-202 (1964)
- SCHWERTMANN, U. und NIEDERBUDDE, E.-A.: Der Mineralbestand der Fraktion 2 einiger Böden aus basaltischen Magmatiten und seine Eigenschaften.-Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 122, 193-206 (1969)
- SEMMEI, A.: Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen.- Frankf.Geogr.Hefte 45, Frankfurt 1968
- SONN, S.W.: Der Einfluss des Waldes auf die Böden.-Jena 1960
- SPRINGER, U.: Der heutige Stand der Humusuntersuchungsmethodik mit besonderer Berücksichtigung der Trennung, Bestimmung und Charakterisierung der Huminsäuretypen und ihre Anwendung auf charakteristische Humusformen.- Bodenk.u.Pflanzenern. 6, 312-373 (1938)

- SPRINGER, U.: Möglichkeiten zur schnellen Humusbestimmung im Boden.-
Z.Pflanzenern.Düng.Bodenk. 40,168-169 (1948)
- SPRINGER, U. und KLEE, S.: Die Charakterisierung und Unterscheidung
von Waldhumusformen mittels der NaOH- und $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Ex-
traktion und der N-Fraktionierung.- Z.Pflanzenern.
Düng.Bodenk. 80,109-126 (1958)
- STECKHAN, H.U.: Pollenanalytisch-vegetationskundliche Untersuchun-
gen zur frühen Siedlungsgeschichte im Vogelsberg -
Knüll und Solling.- Flora 150,514-551 (1961)
- STETTEN, O.von: Vergleichende bodenkundliche und pflanzensoziolo-
gische Untersuchungen von Grünlandflächen im Hohen
Vogelsberg.- Diss. Giessen 1963
- STÖHR, W.Th.: Der Bims (Trachyttuff), seine Verlagerung, Verlehmung
und Bodenbildung (Lockerbraunerden) im südwestlichen
Rheinischen Schiefergebirge.- Notizbl.hess.L.Amt
Bodenf. 91,318-337, Wiesbaden 1963
- TAVERNIER, R. und SMITH, G.D.: The Concept of Braunerde (Brown Fo-
rest Soils) in Europe and the United States.- Adv.
in Agr. 9, 217-289 (1957)
- TAN, K.H.: The Andosols in Indonesia - Soil Sci. 99, 375-378 (1965)
- TAN, K.H.: On the Pedogenetic Role of Organic Matter in Volcanic
Ash Soils under Tropical Conditions. - Soil Sci. and
Plant Nutr. 12, 80-84 (1966)
- TITOVA, N.A.: Eisen- und Humuskomplexe einiger Böden.- Pochv. 12, 38-44
(1962) (russ.)
- TRIBUTH, H.: Die Bedeutung der erweiterten Tonfraktionierung für die
genauere Kennzeichnung des Mineralbestands und sei-

- ner Eigenschaften.- Diss. Giessen, 1967
- TYULIN, V.V. und ROSSOKHINA, M.V.: Vergleichende Charakteristik des Gehalts und der Zusammensetzung von Humus in Rasenpodsolböden mit zweitem Humushorizont, rasenpodsolisierten und grauen Waldsteppen im östlichen Teil der Russischen Ebene.- *Boiologicheskije nauki*, 11, 133-137 (1968) (russ.)
- TYURIN, I.V.: Methods of Analysis for the Comparative Study of Soil Humus.- *Trudy Pochv. Inst. Dokuchaeva* 38, 5-21 (1951), Ref. in: *Soil Fert.* 16, 448 (1953)
- WELLS, C.G. und DAVEY, C.B.: Cation-Exchange Characteristics of Forest Floor Materials.- *Proc. Soil Sci. Am.* 30, 399-402 (1966)
- WADA, K. und ATAKA, H.: The Ion Uptake Mechanism of Allophane.- *Soil and Plant Food* Vol 4, 12-18 (1958)
- WADA, K. und INVOUE, T.: Adsorption humoser Substanzen, die aus verschiedenen Kleeblättern gewonnen werden, in montmorillonit- und allophanreichen Böden.- *Soil Sci. and Plant Nutr.* 13, 9-16 (1967) (engl.)
- WELTE, E.: Über die Entstehung von Huminsäuren und Wege ihrer Reindarstellung.- *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk.* 56, 105-139 (1952)
- WELTE, E.: Zur Konzentrationsmessung von Huminsäuren.- *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk.* 74, 219-227 (1956)
- WIECHMANN, H. und GRIMME, H.: Extraktion von organisch gebundenem Fe aus Sandböden.- *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk.* 122, 260-267 (1969)

WIESEMÜLLER, W.: Untersuchungen über die Fraktionierung der organischen Substanz.- Alb-Thaer Archiv 9, 419 -436
(1965)

YUAN, T. L.: Vergleichende Untersuchung von Reagentien zur Extraktion der organischen Substanz von Böden und die Wirkung des pH-Wertes auf die Trennung von Humin- und Fulvosäuren.- Soil Sci. 98, 133-141 (1964) (engl.)

ZIECHMANN, W.: Über den System-Charakter von Huminstoffen.-
8th Intern. Cong. of Soil Sci. Vol. 2, 193-200,
Bucharest 1964

ZIECHMANN, W. und MEYER, B.: Zur Chemie der Huminsäuren-Vorstufen-
7th Intern. Cong. of Soil Sci. Madison Wisc. USA,
Vol. II, 105-111 (1960)

ZIECHMANN, W. und PAWELKE, G.: Zum Vergleich natürlicher und synthetischer Huminsäuren und ihrer Vorstufen.-
Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 84, 174-184 (1959)

Dem Direktor des Instituts für Bodenkunde und Bodenerhaltung,
Herrn Professor Dr.E.Schönhals,danke ich herzlich für die
Überlassung des interessanten Themas,seinen Rat bei der
Auswahl der Bodenprofile sowie für die Anregungen und die
Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit.

Herrn Prof.Dr.H.U.Preuße bin ich für seinen wertvollen
Rat in methodischen Fragen und für Hinweise bei der Durch-
sicht des Manuskriptes zu Dank verpflichtet.

Mein Dank gilt den Herren Dr.H. Tributh,Dr.K.P.Altmanns-
berger,ehem.wissenschaftl. Assistent am Institut für Boden-
kunde und Bodenerhaltung,Dipl.Geol.Th.Poetsch und Agr.Ing.
G.Werner.

Allen Institutsangehörigen danke ich für die freundliche
Aufnahme und stete Hilfsbereitschaft,die mir während meiner
Doktorandenzeit zuteil wurde.

Zum Schluss möchte ich dem türkischen Kultusministerium für
die zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel aufrichtig
danken.

LEBENS LAUF

M.Coskun Akinci, geboren am 15. Februar 1944 in
Doganhisar / Türkei als Sohn des Schuldirektors
A.Salim Akinci und dessen Ehefrau Sefika.

- 1951 - 1956 Besuch der Volksschule in Aksehir
- 1956 - 1959 Besuch der Mittelschule in Aksehir
- 1959 - 1962 Besuch des Lyzeums in Aksehir
- 1962 - 1967 Studium an der landwirtschaftlichen Fakultät
der Ege-Universität in Izmir
- 1968 - 1969 Ankunft in Deutschland
Besuch des Goethe-Institutes
Sprachkurs für Ausländer an der Justus-Liebig-
Universität in Giessen
- seit 1969 Tätigkeit als Doktorand im Institut für Boden-
kunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig-
Universität in Giessen.

FOTO-DRUCK LENZ · 63 Gießen · Riegelpfad 32/ Ecke Ludwigstraße
Telefon 0641 - 77449